

דו"ח לתוכנית מחקר מספר 16-1830-132 (20-15-0042)

שנת המחקר הראשונה מתוך שלוש שנים

## חקר הדינמיקה של התפשטות פגעים בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית

Studying the spatial and temporal dynamics of pests in agricultural areas

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר

ע"י

דני שטיינברג	המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
ליאור בלנק	המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
יפית כהן	הנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
עומר פרנקל	המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
אלי הררי	המחלקה לאנטומולוגיה, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
יגאל כהן	הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת בר אילן, רמת גן
אורי זיג	ישובי חבל מעון
רקפת שרון	מו"פ צפון
מרים זילברשטיין	מו"פ צפון
יואב גזית	מועצת הצמחים, ראשון לציון
שמוליק עובדיה	יקבי כרמל מזרחי
עופר מנדלסון	אוניברסיטת תל אביב

Dani Shtienberg, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: [danish@volcani.agri.gov.il](mailto:danish@volcani.agri.gov.il)

Lior Blank, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: [liorb@volcani.agri.gov.il](mailto:liorb@volcani.agri.gov.il)

Yafit Cohen, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: [yafitush@volcani.agri.gov.il](mailto:yafitush@volcani.agri.gov.il)

Omer Frenkel, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: [omerf@volcani.agri.gov.il](mailto:omerf@volcani.agri.gov.il)

Ali Harari, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: [aharari@volcani.agri.gov.il](mailto:aharari@volcani.agri.gov.il)

Yigal Cohen, Bar Ilan University. E-mail: [yigal.cohen1@gmail.com](mailto:yigal.cohen1@gmail.com)

Uri zig, Yaham. E-mail: [uriz@yaham.co.il](mailto:uriz@yaham.co.il)

Rakefet Sharon, MOP Zaforn. E-mail: [rakefetsh@gmail.com](mailto:rakefetsh@gmail.com)

Miriam zilberstein, MOP Zafon, [miriams@migal.org.il](mailto:miriams@migal.org.il)

Yoav Gazit, Plant council. E-mail: [yoav@jaffa.co.il](mailto:yoav@jaffa.co.il)

Shmuel Ovadia: Carmei Mizrahi. E-mail: [shmova@zahav.net.il](mailto:shmova@zahav.net.il)

Ofer Mendelson, Tel Aviv University. E-mail: [pelican1@netvision.net.il](mailto:pelican1@netvision.net.il)

## תקציר

**הצגת הבעיה.** ההתפתחות של פגעים בגידולים חקלאיים בזמן ובמרחב הוא תהליך דינאמי מורכב. למרות ההתקדמות במחקר בנושא שהתרחשה בשנים האחרונות הידע לגבי ההשפעות של הגורמים השונים על ההטרוגניות המרחבית-עתית של פגעים נותרה מוגבלת. **מטרות המחקר.** להגדיר עקרונות כלליים לגבי הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים במרחב ובזמן לצורך הוספת ממד מרחבי-עתי למערכות תומכות החלטה מרחביות. **שיטות העבודה.** המחקר מתמקד בארבעה פגעי מודל חשובים: כימשון *Phytophthora infestans*; קימחון *Erysiphe necator*, עש האשכול *Lobesia botrana* וזבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) *Ceratitis capitata*. **תוצאות עיקריות.** נאספו נתונים היסטוריים של התפתחות ארבעת פגעי המודל בשנים האחרונות. הנתונים נותחו בשיטת האקואינפורמטיקה וממצאי הניתוח הצביעו בחלק מהמקרים על דפוס פיזור מרחבי של הפגעים. בנוסף, בצענו ניסויים ייחודיים (כימשון, עש אשכול, זפי"ת), אספנו נתונים אודות הפיזור המרחבי והעיתי של הפגעים (כימשון, עש אשכול, זפי"ת), ופיתחנו כלי ניטור חדשים (קימחון) בהם נעשה שימוש בשנה הבאה. **מסקנות.** התחלנו לצבור עדויות שלפגעים בעלי אופי שונה נפוצים במידה שונה במרחב.

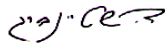
## מעריכים מומלצים לבדיקת הדו"ח המדעי

1. פרופ' יגאל אלעד
2. פרופ' אברהם גמליאל
3. דר' דוד בן יקיר

## הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים. הניסויים לא מהווים המלצות לחקלאים.

תאריך: 20 בפברואר, 2017

חתימת החוקר: 

## תוכן העניינים

### עמוד

4	מבוא
5	מטרות המחקר
5	עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר
13	דיון
14	פרסומים מדעיים
14	פטנטים
14	הרצאות וימי עיון
15	תוספת למיזמים
17	סיכום עם שאלות מנחות
19	נספח לדו"ח של שנת המיזם הראשונה
21	תקציר מנהלים
22	פרק 1: חקר הדינמיקה של התפשטות פגעים בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית - מבוא דני שטיינברג
24	פרק 2: השפעת שימושי קרקע על תפוצת זבוב הפירות הים תיכוני באמצעות אקווינפומטיקה, ניתוח מרחבי וניסויים ייעודיים יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, ליאור בלנק, יואב גזית, מרים זילברשטיין, עופר מנדלסון
34	פרק 3: הדינמיקה של התפשטות עש האשכול בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית רקפת שרון, יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, ליאור בלנק, אלי הררי
46	פרק 4. השפעות שימושי הקרקע והתנאים המקומיים בחלקה על תפוצת פגעים בגפן דודו חקוקי, הלנה קרסנוב וליאור בלנק
55	פרק 5. פיתוח כלים לניטור מרחבי של קימחון הגפן עומר פרנקל, ליאור גור, ליאור בלנק, שמוליק עובדיה
61	פרק 6. שינויים עיתיים באוכלוסיות <i>P. infestans</i> , מחולל מחלת הכימשון בישראל יגאל כהן, אסתי שמבה, אבגניה רובין ומריאנה גלפרין
72	פרק 7. הטרוגניות מרחבית של מחלת הכימשון בחלקה דני שטיינברג וליאור בלנק
76	פרק 8. פיתוח מודל לתיאור של הדינמיקה של מחלת הכימשון בזמן ובמרחב בסקלה אזורית בנגי פירסטר, ליאור בלנק ודני שטיינברג

## מבוא

ההתפתחות של פגעים בגידולים חקלאיים בזמן ובמרחב הוא תהליך דינאמי מורכב. גורמים רבים, וקשרי הגומלין שביניהם, משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים בזמן ובמרחב. בכלל זה גורמים א-ביוטיים (כמו טמפרטורה ומשך הרטיבות) וגורמים ביוטיים (כמו רגישות הפונדקאי ווקטורים המעבירים ווירוסים). על ההפצה במרחב משפיעים גם גורמים גיאוגרפיים שונים, ההטרוגניות הנופית, והפיזור ומידת הקישוריות (connectivity) של הפונדקאי במרחב. למרות ההתקדמות במחקר בנושא שהתרחשה בשנים האחרונות הידע לגבי ההשפעות של הגורמים השונים על ההטרוגניות המרחבית-עתית של פגעים נותרה מוגבלת. גם האדם, המבצע מניפולציות במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה משפיע. המערכת הביולוגית הכוללת מורכבת עוד יותר מפני שקיים מעבר של פגעים מהמערכת החקלאית למערכת הטבעית הסמוכה, ובחזרה. מכאן עולה שחקר התהליכים המשפיעים על התפתחות פגעים בזמן ובמרחב מהווה אתגר לעוסקים בנושא.

בשנים האחרונות עם התפתחות הטכנולוגיות לאיסוף ושיתוף נתונים ופיתוח מערכות מידע גיאוגרפיות (ממ"ג) משוכללות וכלים סטטיסטיים חדשניים לניתוח נתונים, ובכלל זה נתונים מרחביים, נעשה במחקר החקלאי שימוש בגישה שקבלה את הכינוי 'אקואינפורמטיקה'. על פי גישה זו מנותחים נתוני תצפיות רבים שנאספו במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה (ובכלל זה נתונים גיאוגרפיים). הניתוח מאפשר לאפיין את הגורמים המשפיעים על התפתחות הפגעים ולהגיע לתובנות לגבי הדינאמיקה של התפתחות הפגעים בזמן ובמרחב ב"עולם האמיתי". שיטה זו יעילה במיוחד לבחינת השערות בנוגע לתנועה של פגעים בתוך המרחב החקלאי וממנו למרחב הטבעי.

שטחים חקלאיים מאופיינים בדרך כלל בפיזור אקראי של חלקות בגדלים שונים הכוללים (לרוב) מספר גידולים. בגלל הבעייתיות של חקר המערכת הכוללת, ממשק ההדברה של פגעים מתבסס כיום על מידע שנאסף ברמת החלקה הבודדת וזה הבסיס לשיטת ה'הדברה המשולבת' (IPM או ICM). ממשק ההדברה מתואם (מסונכרן) בכל חלקות הגידול באזור המכונה 'ממשק הדברה אזורי' (Area-Wide ICM) מאפשר להתמודד עם הפגעים טוב יותר מאשר ממשק הדברה המתבצע ברמת החלקה הבודדת. ממשק הדברה אזורי חיוני במיוחד במקרים בהם הפגעים מופצים למרחק או שהם רב-פונדקאים ובאזורים בהם עונת הגידול של הפונדקאים הרגישים ארוכה ומאפשרת לפגעים לעבור מגידול אחד למשנהו. יישום העקרונות של ממשק הדברה אזורי מחייב מידע וידע על הדינאמיקה של הפגעים בסביבה החקלאית ובסביבה הטבעית הסמוכה לה. מיזם זה עוסק בחקר הגורמים המשפיעים על הדינאמיקה של פגעים בזמן ובמרחב; הכוונה היא להגיע לתובנות כלליות לגבי הגורמים המשפיעים על הדינאמיקה המרחבית-עתית של פגעים שיאפשרו לאמוד את התועלת שתושג מפיתוח ושימוש בעקרונות של ממשק הדברה אזורי.

המיזם מתמקד בארבעה פגעים שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי. הפגעים שנבחרו שונים זה מזה במאפיינים שונים והם משמשים כפגעי מודל במחקר. הפגעים הם: האומומיצט *Phytophthora infestans* המחולל את מחלת הכימסון בתפוחי אדמה ובעגבניות; הפטרייה *Erysiphe necator* המחוללת את מחלת הקימחון בגפן, עש האשכול *Lobesia botrana* המתקיים על יותר מ- 200 מיני צמחים, וזבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) *Ceratitis capitata* התוקף למעלה מ- 250 פונדקאים.

## מטרות המחקר

**היעד של המיזם הוא להגדיר עקרונות כלליים לגבי הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים במרחב ובזמן לצורך הוספת ממד מרחבי-עתי למערכות תומכות החלטה מרחביות.** הוספת הממד המרחבי-עתי תאפשר להפחית את הסיכון של התבססות פגעים ולצמצם את הנזק שהם גורמים.

**המטרות הספציפיות של המיזם הם:** 1. יישום עקרונות האקואינפורמטיקה והניתוח המרחבי לחקר הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעי המודל בזמן ובמרחב; 2. חקר הגורמים המשפיעים על התפתחות פגעי המודל בזמן ובמרחב בשיטות "קלאסיות" להשלמת פערי ידע והוספת הממד המרחבי-העתי לתהליכי קבלת החלטות המבוצעים לשם בקרה של פגעי המודל; 3. בחינת המתודולוגיות והגדרת עקרונות כלליים לפיתוח ממשקי הדברה משולבת אזורית.

## עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

במיזם זה שותפים 13 חוקרים שצוותו לארבעה צוותי מחקר שיתמקדו בארבעת פגעי המודל. צוות מחקר נוסף (חמישי) יעסוק בניתוח הרב-גורמי של הנתונים המרחביים שיעלו מהמחקרים של צוותי המחקר האחרים. בשנת המיזם הראשונה אספנו, עבור על אחד מפגעי המודל, נתונים היסטוריים שנאספו במשך שנים רבות ונשמרו בארכיונים של החוקרים השותפים במיזם. נתונים אלה נותחו בחתכים שונים בעבר אבל לא בהיבט של הפיזור המרחבי של הפגעים. בנוסף לניתוח הנתונים ההיסטוריים, בצענו בשנת המיזם הראשונה תצפיות, מעקבים וניסויים ייעודיים בהם אספנו מידע אודות הפיזור המרחבי של פגעי המודל. מאחר ולא היו בנמצא כלים יעילים למעקב אחר גנוטיפים של הפטרייה *E. necator*, המחוללת את מחלת קימחון הגפן, פיתחנו בשנת המיזם הראשונה כלי שיאפשר לעקוב אחר הפיזור המרחבי של אוכלוסיות פתוגן זה. הכוונה היא להשתמש בשנת המיזם השנייה בכלי שפיתחנו כדי לבחון את הפיזור המרחבי של הפטרייה בכרמי גפן יין. עקב מגבלת ההיקף של דו"ח זה לא ניתן לפרט את כל ממצאי המחקרים שבצענו. לכן יוצגו כאן רק עיקרי הממצאים של כל אחד מצוותי המחקר. הדו"חות המפורטים של הצוותים צורפו לדו"ח זה כנספח והם נמצאים בהמשך.

### **האואומיצט *Phytophthora infestans* המחולל את מחלת הכימשון בתפוחי אדמה ובעגבניות**

שימוש בנתונים היסטוריים לניתוח של השתנות אוכלוסיות הפתוגן בזמן [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 6 בנספח]. השתמשנו בנתונים היסטוריים כדי לעקוב אחר הדינמיות הפולימורפית של האואומיצט *Phytophthora infestans* בארצנו. העבודה יצאה נשכרת מהזמינות של תבדידים רבים במעבדה שנאספו במהלך 30 השנים האחרונות משדות תפוח"א ועגבנייה בארץ. הזמינות של התבדידים הוותיקים והתבדידים החדשים שאספנו במהלך שנת 2015 ו- 2016 בארץ אפשרו לעשות עבודה פנוטיפית וגנוטיפית מקיפה ובכך לעקוב אחרי השינויים שחלו במהלך השנים האחרונות עד 2015 וכן בשינויים שחלו ב- 2016 לעומת 2015. סה"כ נאספו במעבדתנו 1236 תבדידים, מרביתם מהגב המערבי. עלים נגועים בגורם המחלה הועברו לאוניברסיטת בר אילן ושם נבחנה התגובה של הפתוגן לחומר ההדברה MFX; בנוסף, נקבעה - virulence factors והזוויגיות של התבדידים. הפקת ה-DNA ואנליזת SSR נעשתה במכון המחקר "James Hutton Institute" בעיר דנדי שבסקוטלנד. בדיקות פנוטיפיות נעשו על 1112 תבדידים ובדיקות גנוטיפיות נעשו על 476 תבדידים. בבדיקות הפנוטיפיות נמצאה כי 222 תבדידים הראו עמידות (R) ל-MFX, 266 תבדידים הראו עמידות ביניים (I), ו-588 תבדידים היו רגישים (S); 353 תבדידים השתייכו לזוויג A1 ו- 451 תבדידים השתייכו לזוויג A2; הקומבינציה הנפוצה של גורמי האלימות בתפוח"א הייתה 1,3,4,7,9. הבדיקות הגנוטיפיות באמצעות SSR הראו כי בארץ קיימים שלושה גנוטיפים עיקריים 23\_A1, us7-like ו-13\_A2. 274 תבדידים היו מגנוטיפ 23\_A1, 141 תבדידים היו מגנוטיפ us7-like ו- 58 תבדידים היו מגנוטיפ 13\_A2. מעניין לציין, שהיו תבדידים מגנוטיפ 13\_A2 שהשתייכו לזוויג 1 ורגישים ל-MFX ותבדידים מגנוטיפ 23\_A1 שהשתייכו לזוויג A2 ועמידים ל-MFX. יש להניח שהשונות הרבה באוכלוסיית הפתוגן בארץ נובעת בחלקה מרבייה מינית של הפתוגן באמצעות אואוספורות. הממצאים שתוארו לעיל מבטאים את ההשתנות באוכלוסיות גורם המחלה בזמן. בשנת המיזם הבאה אנחנו מתכוונים לנתח את הממצאים האלה מבחינה מרחבית ולבחון האם, מתי, ולאיזה מרחק נפוצו התבדידים האמורים במרחב.

**הטרוגניות מרחבית של מחלת הכימשון ברמת החלקה** [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 7 בנספח]. בחלק זה של המיזם התמקדנו בפיזור בזמן ובמרחב של *P. infestans* ברמת החלקה הבודדת הנתונים נאספו בחלקה אורגנית מסחרית של קיבוץ נירים במרץ 2016 בה לא נעשה שימוש בתכשירי הדברה ייעודיים להדברת הגזעים העמידים. בוצעו ארבעה חתכים לאורך החלקה ונדגמו עלים נגועים כל 12 מטרים (אם נמצאו בנקודה צמחים נגועים בכימשון). הדוגמאות נשלחו למעבדתו של פרופ' יגאל כהן לשם בחינת פרופיל הוירולנטיות והרגישות למפנוקסם. הבדיקות בוצעו בשיטות שפורטו למעלה.

בסך הכל נדגמו 40 דגימות. עבור 27 דגימות נקבע פרופיל הוירולנטיות ועבור 22 דגימות נקבעה התגובה למפנוקסם. התברר שהחלקה הייתה הטרוגנית מבחינת פרופיל הוירולנטיות ומבחינת התגובה לתכשיר ההדברה. מבחינת התגובה למפנוקסם: 11 דגימות הוגדרו כבעלי עמידות ביניים, 2 דגימות סווגו כרגישות, 3 דוגמאות נמצאו כעמידות ו- 5 סווגו כרגישות במיוחד. מבחינת פרופיל הוירולנטיות, מלבד פרופיל 8, כל 10 הפרופילים האחרים נמצאו בחלקה. מאיפיון הפיזור המרחבי של התבדילים בחלקה עולה שקיימת הטרוגניות רבה של אוכלוסיות הפתוגן, אפילו בתוך חלקה בודדת אחת. הסיבות לכך אינן ברורות (יתכן שהדבר מרמז על תוצאה של הכלאות מיניות המגבירות את השונות באוכלוסייה). בכל מקרה ממצא זה עשוי להצביע על בעיות בקבלת החלטות בנוגע להדברת המחלה. אנו מתכננים לחזור על הדיגום בעונה 2016-17.

**פיתוח מודל לתיאור הפיזור מרחבי-עיתי של מחלת הכימשון ברמת האזור** [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 8 בנספח]. השתמשנו בסט נתונים היסטוריים אחר לפיתוח מודל לתיאור דגם הפיזור המרחבי של מחלת הכימשון. הנתונים ששימשו לבניית המודל נאספו בין החודשים אוקטובר ומרץ בעונות הסתיו והאביב של 2004/5. הנתונים נאספו מחלקות מסחריות באזור מערב הנגב בישראל. גודלו של האזור הוא כ-  $20 \times 35$  ק"מ ( $\sim 500$  קמ"ר). באזור זה מספר רב של שדות תפוחי אדמה לצד גידולי שדה אחרים. האקלים של האזור הוא צחיח למחצה, והמשקעים השנתיים הממוצעים הם 250 מ"מ. בעונה מבוצע ניטור אינטנסיבי וכל חלקה נבדקת פעמיים בשבוע לתסמינים של כימשון. המודל מבוסס על הנתונים הבאים: התאריך שבו זוהו לראשונה תסמיני כימשון בכל חלקה, המיקום של השדה, ונתוני מזג האוויר (טמפרטורה, לחות יחסית, וכיוון רוח) שנאספו במרווחים של 10 דקות ב תחנה הממוקמת בתוך האזור על ידי השירות המטאורולוגי.

בעזרת נתונים אלה, חישבנו שתי פונקציות הסתברות נפרדות כדי להעריך את ההסתברויות של הדבקה שדה על ידי שדות שכבר נגועים בכימשון. פונקציית הסתברות אחת מבוססת על המרחקים בין השדות, והשנייה מבוססת על הזווית הקיימת בין הווקטור משדה נגוע לווקטור הרוח. פונקציות הסתברות אלה שמשו לפיתוח: (א) מודל מרחבי המזהה את כיוון ההדבקה של הפתוגן; (ii) מפות סיכון המנבאות את ההסתברות שאזורים לא נגועים במרחב יודבקו על ידי מערך שדות נגועים.

המודל אומת עם נתונים שנאספו בעונות 2006/7, 2014/15 ו- 2015/16 (עונת המיזם הראשונה). האומות כלל בסך הכול 10 שבועות. אימות המודל בשיטות מקובלות אינו אפשרי מאחר שהיקף המידע מוגבל (מספר קטן יחסית של שדות הודבקו בכל שבוע) ובגלל שהוא מבוסס רק על נתוני נוכחות (presence only). למרות שהמחלה לא נמצא בשדות רבים, אין ודעות שהמחלה לא הייתה נוכחת (false negative). לשם אימות המודל השתמשנו במיקומי השדות המודבקים ו- 70 אתרים שנבחרו

אקראית באזור. בנינו אלגוריתם הבוחן את כל כיווני הרוח האפשריים מ 0 ועד 360 מעלות באינטרוולים של 2 מעלות, ועבור כל כיוון רוח מכל שדה שכבר היה מודבק, חישב את הממוצע של השדות הנגועים והנקודות האקראיות. מכיוון שאין שום דרך לדעת בדיוק היכן לא הייתה מחלה, הנקודות האקראיות מייצגות שדות לא מודבקים. גם אם חלק מהנקודות האקראיות היה בשדה נגוע, עדיין כיוון הרוח הממוצע מייצג שדות לא נגועים. הערכים בכיוון הרוח שהניבו את ההפרש החיובי הגדול ביותר בהסתברות ההדבקה בין כיוון הרוח הממוצע אל השדות הנגועים בפועל והממוצע למיקומים שנבחרו באקראי ייצגו את כיווני הרוח שרחוקים מאקראי ולכן תומכים במודל. כיווני רוח אלו הושוו לכיווני הרוח שנצפו ביום בו התרחשה הפצה. אם כיוון הרוח החזוי תואם את כיוון הרוח הנצפה, הרי המודל מצליח להבדיל בין שדות נגועים לשדות לא נגועים.

בכדי להדגים את הדרכים בהם ניתן להשתמש במודל, השתמשנו בו להדמיה של הפצת תערובות של גנוטיפים במרחב. בהדמיה הראשונה היו שני תבדידים, אחד עמיד לחומר הדברה (לדוגמא, מפנוקסם) והשני רגיש לחומר הדברה, ובהדמיה השנייה היו שני גנוטיפים, האחד בעל אגרסיביות נמוכה והשני בעל אגרסיביות גבוהה. בהדמיות אלה בחרנו בצורה אקראית שישה מיקומים של שדות נגועים. הדמיות אלה המחישו את הפיזור המרחבי השונה של תבדידים בעלי תכונות נבדלות זו מזו בתערובת ובנפרד.

חשוב לציין שלמיטב ידיעתנו זו הפעם הראשונה שפותח מודל המדמה את הפיזור של מחלת הכימסון במרחב. זאת, למרות ניסיונות חוזרים ונשנים של חוקרים רבים בעולם לעשות זאת.

### **הפטרייה *Erysiphe necator* המחוללת את מחלת הקימחון בגפן**

**שימוש בנתונים היסטוריים לבחינת השפעות שימושי הקרקע והתנאים המקומיים על תפוצת קימחון הגפן** [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 4 בנספח]. ברשותנו נתוני ניטור שנאספו בצורה שיטתית ואחידה על ידי "יקבי הכרמל ב- 220 חלקות כרמים באזור שפלת יהודה בין השנים 2006 ו- 2015. חלקות הכרמים נמצאות באזור אקלים ים תיכוני המאופיין בנוף הטרוגני הכולל כיסויי קרקע מגוונים. בדו"ח זה יוצגו הנתונים שנאספו בשנת 2014. נעשתה דיגיטציה של כל הכרמים של יקבי כרמל וכרמים נוספים אחרים. הדיגיטציה בוצעה בתוכנת ARCGIS 10.5 (ESRI) על צילומי אוויר (Orthophotos) ברזולוציה גבוהה ( $0.25 \text{ m}^2$ ) שצולמו ב- 2014. נתונים לגבי זן הגפן, המגדל וגיל החלקה התקבל מבסיס הנתונים של יקבי כרמל. שכבת סוג הקרקע (מקור- משרד החקלאות) באזור המחקר יוזנו כחלק מן השכבות המנותחות במרחב.

מסד הנתונים כולל (לגבי כל חלקה) מידע הקשור להתפתחות הקימחון וחומרתו בזמן. זה היה המשתנה התלוי בניתוחים שביצענו. בנוסף, כולל מסד הנתונים נתוני לגבי מאפייני החלקה. מיפוי כיסוי קרקע



מסביב לכל חלקה התבצע באמצעות תצלומי אוויר (Orthophotos). כדי לבחון אם שימושי הקרקע השונים משפיעים על חומרת המחלה ואת הטווח שבו מתקיימת השפעה הרבה ביותר, נבחן הקשר בין חומרת הנגיעות בקימחון בחלקות לשימושי הקרקע במרחקים הולכים וגדלים באזור. החלקות נמצאו במרכז של מספר טבעות (Buffers) במרחקים הולכים וגדלים. לאחר מכן בוצע ניתוח סטטיסטי לבחינת המובהקות של ההשפעה של השטח על אוכלוסיית הפגע בחלקות המרכזיות (Focal plots). הקשר לכיסוי הקרקע נבחן בטווחים שונים מקצה החלקה: 100, 200, 300, 400, 500, 750, 1000, 1250 ו-1500 מטרים. כיסויי הקרקע שמופו נחלקו ל - 7 קטגוריות: חלקות כרמים, שטחים פתוחים, שטחי גד"ש, שטחי מטעים נשירים, חלקות פרדסים, אזורים בנויים ויערות. מידת החשיבות של כל משתנה נבחנה באמצעות מציאת האחוז מתוך השונות המוסברת של כל משתנה באופן בלעדי. מובהקות סטטיסטית נבחנה באמצעות מבחן רנדומיזציה (500 חזרות). האנליזה והמבחן הסטטיסטי בוצעו באמצעות חבילה Hier.Pert ויושמה ב-R. בחנו את מקדם הקורלציה (פירסון) בין רמת הנגיעות בקימחון ביחס לשטח של אחד משמושי הקרקע בכל אחד מסקלות החיץ סביב החלקות בכדי לקבוע אם לקונטקסט הנופי יש השפעה על הפגעים ואם כן, באיזו סקלה מרחבית.

בכל הניתוחים שבצענו לא מצאנו קשר סטטיסטי מובהק בין כיסויי הקרקע השונים לנגיעות בקימחון הגפן באף אחת מהסקלות המרחביות. פטריה זו מופצת באופן פסיבי במרחב ומושפעת מתנאים אקלימיים ומהרוח. היא תוקפת באופן בלעדי רק גפנים ונראה ששימושי הקרקע הנמצאים בסמוך לחלקות הגפנים לא משפיעים, ככל הנראה, על הפצת המחלה במרחב. בנוסף, לא מצאנו נגיעות גבוהה יותר בקימחון באזורים בהם הייתה שכיחות גבוהה יותר של כרמים. יתכן וזו אינדיקציה לכך שאין הפצה של קימחון מחלקה אחת לחלקות הסמוכות אליה. יש לבחון היפותזה זו בשנת המיזם הבאה.

**פיתוח כלים לניטור מרחבי של קימחון הגפן** [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 5 בנספח]. לימוד ההפצה במרחב של הפטרייה הביוטרופית *Erysiphe necator* מהווה אתגר גדול עקב שונות גנטית נמוכה, מספר הסמנים הגנטיים הזמינים המוגבל והקושי להפיק ולשמר כמות גדולה של תבדידי קימחון אשר אינם גדלים בצלחות פטרי. מטרת המחקר הייתה להגדיר סט סמנים אשר יאפשר לנו לזהות כמות גדולה של גנוטיפים ושיספקו גם מידע פנוטיפי על העמידות לחומרי הדברה מקבוצת הטריאזולים. מטרה הנוספת הייתה לפתח שיטה מהירה לאיסוף כמות גדולה של תבדידים שישמשו אותנו בשנות המחקר הבאות. במסגרת המחקר הגדרנו 2 סטים של פרימרים; הסט הראשון כלל פרימרים להגברת הגן CYP51 וזוהו בעזרתו 4 סמני SNP הכוללים גם את ההבדל בין שתי הקבוצות הגנטיות הקיימות בישראל וגם את הסמן לעמידות כנגד חומרי הדברה מקבוצת הטריאזולים. בנוסף, ריצוף סמן ה-ENMS3 SSR תרם עוד 4 גנוטיפים אפשריים וסך הכל 16 מבנים גנטיים (האפלוטיפים) לחקר התפוצה במרחב. בנוסף נבדקו מספר שיטות להפקה ואחסון יעילים של תבדידי *E. necator*.

שיטה הכוללת שמירה של תבדידים בתוך מים או בופר של קיט מסחרי MasterPure Yeast ב-80°C נבחרה כשיטה בעלת אחוזי הצלחה גבוהים בהפקת תוצר ריצוף אמין ותשמש בהמשך שנות המחקר לאיסוף והפקת DNA. בשנת המיזם השנייה נשתמש בכלים שפיתחנו למעקב אחר ההפצה המרחבית של הקימחון בכרמי גפן יין.

### עש האשכול *Lobesia botrana* בנשירים וגפן יין

**שימוש בנתונים היסטוריים לבחינת השפעות שימושי הקרקע והתנאים המקומיים על תפוצת עש האשכול בגפן יין** [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 4 בנספח]. בחלק זה הל המחקר השתמשו בנתוני בניטור שנאספו על ידי "יקבי הכרמל ב-220 חלקות כרמים באזור שפלת יהודה בין השנים 2006 ו-2015. דרך איסוף הנתונים וניתוחם פורטה למעלה בסעיף המתייחס לקימחון הגפן.

בניתוח המרחבי של הנתונים מצאנו קשר בין נגיעות בעש האשכול למספר שימושי קרקע: נשירים (קורלציה מקסימלית בסקלה של 200 מ'  $r=0.38$ ;  $P \text{ value} < 0.05$ ), כרמים וגדולי שדה (מובהקת קבועה בכל סקלות המרחק), שטח בנוי ויער (מקסימלית בסקלה של 1500 מ'  $r=0.155$ ;  $P \text{ value} < 0.05$  ו-  $P \text{ value} < 0.01$ ;  $r=0.2$ , בהתאמה) ועבור שטח פתוח (מובהקת וקבועה בסקלות הגדולות). עבור פרדסים לא נמצא מובהקות באף אחת מהסקלות המרחביות. לעש האשכול למעלה מ-200 פונדקאים ידועים, רבים מהם מטעים נשירים. ככל הנראה זה ההסבר למתאם הגבוה ( $r=0.38$ ) והמובהק סטטיסטית לחלקות נשירים. בנוסף לכך, נמצא מתאם חיובי ומובהק סטטיסטית לכרמים הנמצאים בסמוך ובאזור של החלקות הנבדקות. לעומת זאת, לשטחים בנויים ומיוערים נמצא קשר חיובי לנגיעות בעש האשכול בסקלות המרחביות הגדולות. לגבי שטחים בנויים, רוב הישובים באזור המחקר הם כפריים ויתכן שקיימים פונדקאים של המזיק שאינם מטופלים בתוך הישובים כך שהם מהווים מקור למזיק. לגבי היערות, יתכן וההשפעה היא עקיפה היות ורוב היערות בשטח המחקר שלנו מרוכזים במורדות הרי יהודה. למעשה לשליש מהחלקות אין יער במרחק של 1000 מטרים. לכן יתכן וההשפעה על העש נובעת ממאפייני האזור בו גדלים היערות- טופוגרפיה, לחות וכדומה.

**הדינמיקה של התפשטות עש האשכול בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית** [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 3 בנספח]. עש האשכול הוא מזיק פרי רב-פונדקאים לדוגמא: גפן, רימון, אפרסק, שזיף, אגס, תפוח ועוד. המטרה המרכזית של המחקר הייתה לבחון אם אוכלוסיות עש האשכול נעות בין פונדקאים שונים. לצורך זה, הוצגו שתי היפותזות: על פי היפותזה הראשונה הנקבה המזווגת עוקבת אחר נדיפים שמקורם בפונדקאים השונים ומטילה באלו המועדפים עליה, בשלבים הפנולוגיים המתאימים. על פי היפותזה השנייה, הנקבה מעדיפה להטיל בפונדקאים בהם היא החלה את חייה

כחל. על פי היפותזה השניה אוכלוסיית המזיק תישאר יציבה בתוך החלקה והמעבר בין פונדקאים יהיה מזערי. בחינת ההשערות בוצעה בגישת האקואינפורמטיקה וניתוח מרחבי ברמה אזורית ובאמצעות ניתוח מובנה של דינמיקה בזמן ודגמי פיזור בין ובתוך מטעים. בשיטה הראשונה, השתמשנו בבסיס נתונים רחב, הכולל מספר שנים, שהתקבל מניטורים שבועיים שגרתיים של פקחים ופקחיות במטעים באזור מושבות השומרון ורוכז בשרת של חברת Agritask. בגישת האקואינפורמטיקה עסקנו בארגון הנתונים ההיסטוריים שנאספו במהלך השנים והתבצע ניתוח סטטיסטי מרחבי על מנת ללמוד על גורמים מרחביים המשפיעים על אוכלוסיית עש האשכול. לניתוח דגמי פיזור בין ובתוך מטעים נערך ניסוי בארבעה צמדים של כרם ורימון וארבעה צמדים של כרם ונקטרינה. גודל כל צמד היה 20-40 דונם. בכל צמד נטרה נוכחות זכרים באמצעות מלכודות בחודשים מרץ-דצמבר בתדירות של פעמיים בחודש. מלכודות הזכרים הוצבו בכל פאת מטע ואחת במרכז (סה"כ 5 בכל מטע). בנוסף בוצע ניטור נגיעות של ביצים וזחלים בפירות, כמדד לתפוצת הנקבות והעדפת אתר הטלה. ניטור הנגיעות נעשה ב- 100 עצים בפיזור אחיד בכל מטע (סה"כ 800 עצים, כאשר 4 פירות/אשכולות נוטרו בכל עץ) מספר פעמים לאורך העונה.

תוצאות הניתוח בשיטת האקואינפורמטיקה הראו שהתקיים קשר בין שטח כרמי הגפן המקיף מטעי רימונים ובין הנגיעות ברימונים. הנגיעות במטעי רימון עלתה עם העלייה בשטח הגפן המקיף אותם בחודשים יוני ואוגוסט 2014 ובחודשים יולי, אוגוסט וספטמבר 2015. לא נמצאו קשרים הפוכים.

מתוצאות הניתוח של הניסוי המובנה עלה שהנגיעות בכרם גבוהה לעומת הנגיעות בפירות הגידולים הסמוכים שנבחרו (רימון במושבות השומרון ונקטרינה בגליל). ממצאים אלו מחזקים את ממצאי ניתוח הנתונים בגישת האקואינפורמטיקה מהם נראה כי הגפו מהווה מקור והרימון מהווה מבלע. בחלקות הרימון נראתה עלייה בנגיעות החל מחודש יולי וגם זה מחזק את הממצאים שעלו מניתוח הנתונים בגישת האקואינפורמטיקה. הניסוי המובנה הראה את השפעת הגורם של מועד הבציר/קטיף- כאשר הכרם נבצר לפני הרימון עלתה הנגיעות בחלקת הרימון הסמוכה לכרם, כאשר הכרם נבצר אחרי קטיף הרימונים חלה עלייה מועטה בלבד ורק בחלק מחלקות הרימון. ממצאים אלו יכולים להסביר את העלייה ברמת הנגיעות בחלקות הרימון בספטמבר שנראתה בנתונים שנתחו בגישת האקואינפורמטיקה מאחר שבמועד זה מרבית הכרמים נבצרו. ממצאים אלו גם מרמזים על התאמה של הרימון להטלה בסביבות יולי (יתכן שקשור בשלב הפנולוגי של הפרי), עם זאת אוכלוסיית העש בגפן, על פי הנזק לפירות, נותרה גבוהה יותר מאשר ברימון (ככל הנראה כתוצאה מהעדפה של עש האשכול את הגפן על פני הרימון). ממצאים אלו עדיין לא מאפשרים הפרדה בין ההשערות השונות. בחלקת הגפן בה הופעלה שיטת בלבול הזכרים כנגד עש האשכול נמצאה נגיעות גבוהה יחסית, שאינה מאפיינת חלקות מבולבלות.

### **זבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) *Ceratitis capitata* בנשירים והדרים**

שימוש בנתונים היסטוריים לבחינת הפיזור המרחבי של זפי"ת ובחינתם בניסויים יעודיים [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 2 בנספח]. זפי"ת תוקף למעלה מ- 250 מינים של פירות ביניהם כל מיני ההדרים. בשנה הראשונה של מחקר זה בחנו באופן ראשוני את ההשערות: (1) כי הזבוב עובר מגינות פרטיות לפרדסים ו-2) כי הזבוב עובר מהדרים לנשירים ולהיפך. לבחינת ההשערות הללו השתמשנו בגישת האקואינפורמטיקה בשילוב ניתוח מרחבי. לשם כך פותח כלי חצי-אוטומטי לניתוח מרחבי סטטיסטי של בסיסי נתונים גדולים. שימוש בכלי זה לניתוח בסיסי נתונים גדולים מאפשר להציף קשרים אפשריים בזמן קצר בעוד שניסוי בשטח יכול לבחון את השערות הספציפיות שהועלו מתוצאות הניתוח. עם זאת, ישנו צורך בבקרת איכות של הנתונים הנאספים בשגרה. מערך הנתונים הרחב כלל שכבות של מטעים, פרדסים וישובים וכן נתוני ניטור רב-שנתיים של בוגרים באמצעות מלכודות ובדיקת נגיעות בפירות. הנתונים התקבלו מהמכון להדברה ביולוגית, ממו"פ צפון ומהמרכז למיפוי ישראל. בשנת המחקר הראשונה עסקנו בארגון הנתונים ההיסטוריים והתבצע ניתוח מרחבי-סטטיסטי לחלק מן הנתונים.

מניתוח התוצאות עולה כי בתקופות השיא (אוקטובר, נובמבר ולפעמים באפריל ומאי), קיים קשר (שלילי) בין לכידות של הזפי"ת בפרדסים ובין המרחק שלהם מישובים. קרי, ככל שמתרחקים מישוב עד למרחק של 500 מטר מספר הלכידות במלכודות יורד. מ - 500 מטר והלאה מספר הלכידות מתייצב. התופעה חזרה על עצמה במשך שלוש עונות. תוצאות אלו מחזקות את ההשערה כי הזבוב עובר מגינות פרטיות לפרדסים. בנוסף, נמצא קשר חיובי בין שטחי אגס המקיפים פרדסים ללכידות בהדרים בחודשים אוקטובר-דצמבר. קרי, הלכידות בהדרים בתקופה זו עולות ככל ששטח מטעי האגס המקיף אותם עולה. התופעה חזרה על עצמה במשך שתי עונות. לא נמצאו קשרים דומים עם מטעי נשירים אחרים כמו תפוח ושזיף ולא נמצא קשר הפוך בין הדרים לאגס. הקשר בין אגס להדרים מחזק את ההשערה השנייה: הזבוב עובר ממטעי אגס להדרים.

לבחינה השערה זו נערך ניסוי יעודי באמצעות פיזור זבובים עקרים מסומנים בחמישה צמדים של פרדס ואגס מתאימים בגודלם בגליל העליון וברמת הגולן. הזבובים שפוזרו בהדרים סומנו בוורוד ואלו שבאגסים בצהוב. יום או יומיים לאחר הפיזור, נתלו בכל מטע 10 מלכודות ג'קסון עם נדיפית טרימדלור (סה"כ 100 מלכודות). ספירת הזבובים הצביעה על מעבר של הזבוב בין שני המטעים האלו. ממצאי ניתוח הנתונים ההיסטוריים מאוששים את שתי ההשערות כאשר בין הגידולים נראית כיוונית של גידול האגס כמקור לזבוב בהדרים. ממצאי הניסוי היעודי מחזקים את השערה 2 אך מראים הדדיות במעבר בין האגס להדרים.

## דיון

בשנת המיזם הראשונה אספנו וארגנו נתונים היסטוריים שנאספו במשך שנים רבות עבור כל פגעי המודל. הצלחנו לארגן את הנתונים בקבצים, למדל אותם ואף לנתח חלק מהם בניתוחים ראשוניים. הממצאים אפשרו להעלות היפותזות שונות שחלקן כבר נבחנו בשנת המיזם הראשונה ואת האחרות נבחן בשנים הבאות של המיזם.

ניתוח הנתונים ההיסטוריים שנאספו לגבי של האאואומיצט *P. infestans* הצביעו על שונות גנטית גדולה של אוכלוסיות הפתוגן המרמזים על הימצאות ועל חשיבות שלב מיני באוכלוסיות הנפוצות בישראל. גם בדגימות שבצענו במסגרת מחקר זה בחלקה בודדת מצאנו שונות גדולה, דבר המאושש את ההיפותזה שהעלינו. אם כך הדבר, הרי שיהיה קושי במציאת סמנים לבחינת ההפצה המרחבית של הפתוגן ברמת האזור. במקביל, השתמשנו בנתונים היסטוריים בהם לא נעשה מאמץ לאפיין את אוכלוסיות הפתוגן ופיתחנו, בפעם הראשונה בעולם (למיטב ידיעתנו) מודל לתיאור ההפצה המרחבית של הפתוגן ברמת האזור. המודל אומת באמצעות סט של נתונים בלתי תלויים שנאספו במשך מספר שנים, חלקם בשנה הראשונה של המיזם. המודל יכול לשמש ככלי רב ערך לחיזוי הפיזור המרחבי של הפתוגן הגורם למחלת הכימשון במרחב, וניתן יהיה לעשות בו שימוש לשיפור ההדברה ולחיסכון בתכשירי הדברה.

ניתוח הנתונים ההיסטוריים של קימחון הגפן העלה ממצא מעניין, לא צפוי. מניתוח הנתונים עולה לכאורה שהפטרייה המחוללת את המחלה *E. necator* לא נפוצה במרחב מחלקת גפן נגועה אחת לשנייה. בשנת המיזם הראשונה פיתחנו כלים מולקולאריים שיאפשרו בשנה הבאה לבחון היפותזה זו.

ניתוח הנתונים ההיסטוריים של עש האשכול וזפי"ת הצביעו על האפשרות שהמזיקים נפוצים במרחב מחלקה אחת לשנייה ואף הצביע על דגם מסוים של הפיזור שהשתנה בהתאם לעונת השנה ולמצב הפנולוגי של הפונדקאים שלו. הממצאים נבחנו בניסויים מכוונים שאוששו במידה מסוימת את הממצאים הראשוניים. הועלתה ההשערה שקיים מעבר של העש מגפן לרימון ואילו ניתוח הדינמיקה בזמן ודגמי הפיזור הצביעו על השפעות אפשריות של בלבול, פנולוגיה של הגידול ושל מועד הבציר/קטיף על המעבר. ניתוח הנתונים ההיסטוריים של זפי"ת והניסויים שבצענו מצביעים גם הם על הפצה מרחבית מכוונת של הזבוב: נראה שהוא עובר ממטעי אגס להדרים כתלות בעונת השנה. אלו הן רק תובנות ראשוניות והמשך המחקר יאפשר להגיע למסקנות ברורות יותר.

מיזם זה מתמקד בחקר הגורמים המשפיעים על הפצת פגעים במרחב ובזמן. המחקר שאנו מבצעים יקדם כמובן את הידע הנוגע לפגעי המודל הנחקרים אבל הכוונה היא שהמחקר בפגעי המודל יאפשר להגיע לתובנות כלליות לגבי הגורמים המשפיעים על הדינמיקה המרחבית-עיתית של פגעים בכלל.

מסיבה זו בחרנו ארבעה פגעים השונים זה מזה באפיונים הביולוגיים שלהם. ממצאי השנה הראשונה הם כמובן ראשוניים, ולא ניתן כמובן להסיק מסקנות מרחיקות לכת וחד-משמעיות, אבל נראה שכבר ניתן להצביע על הבדלים ברורים בדגם הפיזור המרחבי של הפגעים הנחקרים. בזהירות הראויה (בגלל שהממצאים אינם מאומתים עדיין) ניתן להגדיר שישנם פגעים שמידת ההפצה שלהם במרחב היא מוגבלת (יתכן שזה המצב עם קימחון הגפן). לגבי פגעים מקבוצה זו השימוש במידע מרחבי לא ישפר את בקרתם וההחלטות להדברה צריכות להסתמך רק על מידע שנאסף ברמת החלקה הבודדת. ישנם פגעים (כמו כימשון בתפוחי אדמה) המופצים פסיבית בדרך האוויר למרחקים שלגביהם ראוי וכדאי לפתח מודלים להפצה מרחבית ברמת האזור המבוססים על נתוני מזג האוויר השוררים. המודלים יכולים לשפר את ההדברה ולחסוך ריסוסים, מפני שהפיזור המרחבי של הפתוגן הוא כיווני והוא מותנה בכיוון של הרוחות השכיחות באזור. ישנם פגעים אחרים (כמו עש אשכול וזפי"ת) המופצים במרחב אבל הפצתם אינה פסיבית ואינה אקראית והיא תלויה בגורמים ביוטיים כמו הזמינות של הפונדקאים שלהם ומצבם הפנולוגי. עבור פגעים מסוג זה ניתן לפתח מודלים אזוריים לפצה מרחבית, אבל המודלים צריכים להיות מבוססים על נתונים ביוטיים ולא על נתונים א—ביוטיים כמו במקרה של הפתוגנים שצוין למעלה. חשוב כמובן לזכור שהממצאים שתוארו מסכמים רק את שנת המיזם הראשונה והכתוב למעלה הוא היפותזת עבודה ולא מסקנה ברורה, סגורה ומאוששת.

## פרסומים מדעיים

המאמר הבא נשלח לפרסום לעיתון *Phytopathology* ובעת כתיבת דו"ח זה נמצא בשיפוט מדעי:  
Firester, B., Shtienberg, D., and Blank, L. 2017. Modeling the spatio-temporal dynamics of *Phytophthora infestans* at a regional scale. *Phytopathology*. submitted

**פטנטים.** לא הוגשו פטנטים שנבעו ממחקר זה

## הרצאות וימי עיון:

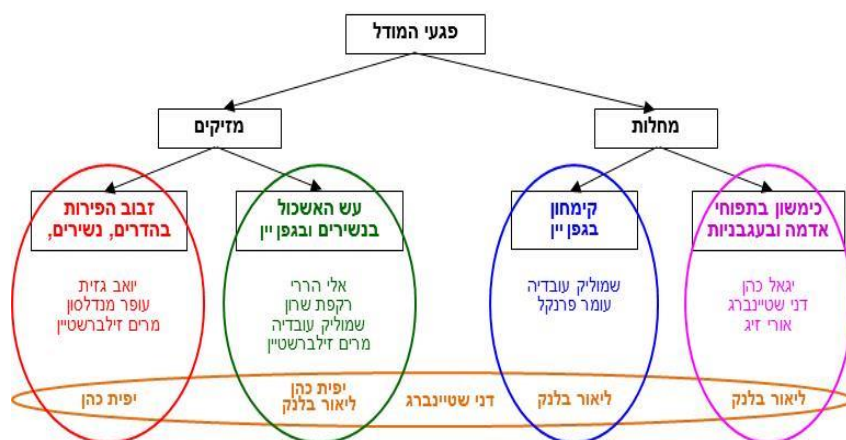
בכנס השנתי ה-38 של העמודה הישראלית למחלות צמחים הוצגו ההרצאות הבאות של חוקרי המיזם:  
☒ בלנק ל', פירסטר ב' ושטיינברג ד'. מודל מרחבי-עתי בסקלה אזורית המתאר את הדינמיקה בזמן ובמרחב של מחלת הכימשון.  
☒ פורמן ה', גולדשטיין א', כהן י' ובלנק ל'. שימוש בגישת האקואינפורמטיקה לחקר הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים בזמן ובמרחב  
☒ חקוקי ד' ובלנק ל'. ניתוח מרחבי של השפעת הנוף והתנאים הסביבתיים על תפוצת פגעים בכרמים  
☒ שמבה א', בן נעים י', רובין א', גלפרין מ', קוק ד' וכהן י'. תכונות פנוטיפיות וגנוטיפיות של תבדידי כימשון בישראל בשנים 2015-16

ביום שלישי, 21 בפברואר 2017 התקיים במכון וולקני יום עיון שותרתו: "מיזם חוס"ן פיזור מרחבי של פגעים". ביום העיון דווחו חוקרי מיזם חוס"ן פיזור מרחבי על המחקרים שהתבצעו במסגרת המיזם. יום העיון היה פתוח לקהל הרחב.

## תוספת למיזמים

### כיצד שילוב התוצאות של קבוצות המחקר מקרב את המיזם לקראת מימוש יעדיו

המיזם מתמקד בארבעה פגעי מודל שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי. הוקמו ארבעה צוותי מחקר ('צוותי פגעי המודל') שמשימתם היא להגיע לתובנות לגבי הגורמים המשפיעים על הדינמיקה המרחבית-עיתית של פגעי המודל. כדי שאפשר יהיה להגיע לתובנות כלליות הוקם צוות חמישי הכולל מומחים בתחום הניתוח הרב-גורמי המרחבי שתפקידו לתכלל את הממצאים שיעלו במסגרת המחקרים של צוותי פגעי המודל. לכל אחד מצוותי פגעי המודל הצטרף חוקר מהצוות החמישי המלווה אותם. באיור 1 מוצגת המתכונת של המיזם.



**איור 1.** מבנה מיזם חוס"ן אפידמיולוגיה מרחבית. המיזם כולל ארבע צוותי מחקר שיתמקדו בפגעי מודל: בסגול – צוות הכימסון, בכחול – צוות הקימחון, בירוק – צוות עש האשכול ובאדום – צוות זבוב הפירות הים תיכוני. בנוסף, יהיה צוות שיעסוק בתחום הניתוח הרב-גורמי המרחבי (מסומן בתרשים בצבע כתום) שיתכלל את ממצאי ארבעת צוותי הפגעים.

כל החוקרים השותפים במיזם נפגשו שלוש פעמים במשך השנה לדיונים כלליים. צוותי פגעי המודל נפגשו, בנוסף לכך, מספר פעמים – על פי הצורך. הקשר בין החוקרים של צוותי המודל לחוקרי הצוות החמישי היו הדוקים והנתונים שנאספו על ידי צוותי פגעי המודל נותחו במשותף עם החוקרים מצוות הניתוח הרב-גורמי. מתכונת זו עבדה בצורה מצוינת (לדעת החוקרים השותפים במיזם) והיא הובילה להסקת מסקנות והיפותזות שלא ניתן היה להגיע אליהם במידה והעבודה הייתה של כל צוות בנפרד.

**סיכום המחקרים שבוצעו**

מטרות לשנה הבאה	סטיות ושינויים	מסקנות ולקחים	מטרות המחקר בשנה הנוכחית	קבוצת מחקר
ניתוח השונות במרחב	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	קיימת שונות באוכלוסייה בזמן בוצע בחלקה אורגנית	איסוף נתונים היסטוריים ניטור הפיזור המרחבי	כימשון
ינתחו נתונים של שנים נוספות יבוצע ניטור מרחבי תוך שימוש בכלי שפותח	נותחו רק נתוני שנת 2014 בוצע כמתוכנן	נראה שאין הפצה במרחב הכלי פותח ומוכן לשימוש	איסוף נתונים היסטוריים פיתוח כלי לניטור	קימחון
יבחנו ההיפותזות שהועלו בשנה זו	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	יש הפצה מרחבית מוכוונת יש הפצה מרחבית מוכוונת	איסוף נתונים היסטוריים ניטור הפיזור המרחבי	עש אשכול
יבחנו ההיפותזות שהועלו בשנה זו	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	יש הפצה מרחבית מוכוונת יש הפצה מרחבית מוכוונת	איסוף נתונים היסטוריים ניטור הפיזור המרחבי	זפי"ת
המשך ניתוח	בוצע כמתוכנן <b>המודל שפותח בשנת המיזם הראשונה היה אמור להיות מפותח רק בסיום המחקר - עוד שנתיים</b>	הנתונים נאספו ונותחו פותח מודל לכימשון	ניתוח הנתונים ההיסטוריים פיתוח מודל פיזור מרחבי	ניתוח מרחבי



## סיכום עם שאלות מנחות לדו"ח מחקר מס': 132-1736

### הניסויים שנעשו תוך השוואה לתוכנית העבודה:

צוותי המחקר עמדו במשימות שהגדירו לעצמם בתוכנית העבודה באופן מלא. כל צוותי המחקר אספו את הנתונים ההיסטוריים וצוות הניתוח התחיל כבר לנתח אותם ואף העלה היפותזות חדשות. כל הבדיקות, התצפיות והניסויים המתוכננים בוצעו בפועל – ובהצלחה.

### עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח:

איסוף הנתונים ההיסטוריים והתחלת ניתוחם; ביצוע ניסויים ותצפיות לבחינת דגם הפיזור המרחבי של כימסון, עש אשכול וזפי"ת; פיתוח שיטה לניטור קימחון הגפן.

### כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח:

כל המטרות המתוכננות הושגו. המודל שכבר פותח לחיזוי ההפצה המרחבית של כימסון ברמת האזור היה אמור להיות מפותח בשנת המיזם השלישית!

### מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני הדרך:

הכל (ויזתר מכך).

### מסקנות מדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו בעתיד:

קיימים הבדלים בפיזור המרחבי של פגעים שונים; התחשבות בדגם הפיזור המרחבי בקבלת החלטות להדברה משולבת אזורית עשויה להיות רלוונטית עבור חלק מהפגעים אך לא לאחרים. ניתן יהיה לאפיין את הבדלים בין הפגעים ולהחליט מראש את מי מהם כדאי, ואת מי לא, לשלב במערכת הדברה משולבת אזורית.

### הבעיות שנותרו לפיתרון ושינויים שחלו בעבוד ומה אמורה להיות ההתייחסות בהמשך:

יש להמשיך ולנתח את הנתונים ההיסטוריים שנאספו עבור ארבעת פגעי המודל, לאסוף נתונים חדשים מהשטח ולבחון את ההיפותזות שהועלו בתום שנת המחקר הראשונה.

### פירוט בכתב:

המאמר הבא נשלח לפרסום לעיתון Phytopathology ובעת כתיבת דו"ח זה נמצא בשיפוט מדעי:  
Firester, B., Shtienberg, D., and Blank, L. 2017. Modeling the spatio-temporal dynamics of *Phytophthora infestans* at a regional scale. Phytopathology. submitted

## פטנטים:

לא הוגשו פטנטים שנבעו ממחקר זה

## הרצאות וימי עיון:

בכנס השנתי ה – 38 של העמודה הישראלית למחלות צמחים הוצגו ההרצאות הבאות של חוקרי המיזם:

- בלנק ל', פירסטר ב' ושטיינברג ד'. מודל מרחבי-עתי בסקלה אזורית המתאר את הדינמיקה בזמן ובמרחב של מחלת הכימשון.
- פורמן ה', גולדשטיין א', כהן י' ובלנק ל'. שימוש בגישת האקואינפורמטיקה לחקר הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים בזמן ובמרחב
- חקוקי ד' ובלנק ל'. ניתוח מרחבי של השפעת הנוף והתנאים הסביבתיים על תפוצת פגעים בכרמים
- שמבה א', בן נעים י', רובין א', גלפרין מ', קוק ד' וכהן י'. תכונות פנוטיפיות וגנוטיפיות של תבדידי כימשון בישראל בשנים 2015-16

ביום שלישי, 21 בפברואר 2017 התקיים במכון וולקני יום עיון שכותרתו: "מיזם חוס"ן פיזור מרחבי של פגעים". ביום העיון דווחו חוקרי מיזם חוס"ן פיזור מרחבי על המחקרים שהתבצעו במסגרת המיזם. יום העיון היה פתוח לקהל הרחב.

## פרסום הדו"ח:

ללא הגבלה.



## נספח לדו"ח של שנת המיזם הראשונה

# מיזם חוס"ן פיזור מרחבי: חקר הדינמיקה של התפשטות פגעים בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית

ע"י

דני שטיינברג, ליאור בלנק, יפית כהן, עומר פרנקל ואלי הררי

מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון

רקפת שרון ומרים זילברשטיין

מו"פ צפון

יגאל כהן

אוניברסיטת בר-אילן

עופר מנדלסון

אוניברסיטת תל אביב

אורי זיג

יישובי חבל מעון

שמוליק עובדיה

יקבי כרמל מזרחי

יואב גזית

מועצת הצמחים

במחקר שותפו גם האנשים הבאים:

מינהל המחקר החקלאי: ליאור גור, הלנה קרסוב, איתן גולדשטיין, דוד חקוקי, בנג'י פירסטר.  
אוניברסיטת בר אילן: אסתי שמבה, אבגניה רובין ומריאנה גלפרין.

## תוכן העניינים

### עמוד

21	תקציר מנהלים
22	פרק 1: חקר הדינמיקה של התפשטות פגעים בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית - מבוא דני שטיינברג
24	פרק 2: השפעת שימושי קרקע על תפוצת זבוב הפירות הים תיכוני באמצעות אקווינפומטיקה, ניתוח מרחבי וניסויים ייעודיים יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, ליאור בלנק, יואב גזית, מרים זילברשטיין, עופר מנדלסון
34	פרק 3: הדינמיקה של התפשטות עש האשכול בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית רקפת שרון, יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, ליאור בלנק, אלי הררי
46	פרק 4. השפעות שימושי הקרקע והתנאים המקומיים בחלקה על תפוצת פגעים בגפן דודו חקוקי, הלנה קרסנוב וליאור בלנק
55	פרק 5. פיתוח כלים לניטור מרחבי של קימחון הגפן עומר פרנקל, ליאור גור, ליאור בלנק, שמוליק עובדיה
61	פרק 6. שינויים עיתיים באוכלוסיות <i>Phytophthora infestans</i> , מחולל מחלת הכימשון בישראל יגאל כהן, אסתי שמבה, אבגניה רובין ומריאנה גלפרין
72	פרק 7. הטרוגניות מרחבית של מחלת הכימשון בחלקה דני שטיינברג וליאור בלנק
76	פרק 8. פיתוח מודל לתיאור של הדינמיקה של מחלת הכימשון בזמן ובמרחב בסקלה אזורית בנגי פירסטר, ליאור בלנק ודני שטיינברג

## תקציר מנהלים

ההתפתחות של פגעים בגידולים חקלאיים בזמן ובמרחב הוא תהליך דינאמי מורכב. גורמים רבים, וקשרי הגומלין שביניהם, משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים בזמן ובמרחב. למרות ההתקדמות במחקר בנושא שהתרחשה בשנים האחרונות הידע לגבי ההשפעות של הגורמים השונים על ההטרוגניות המרחבית-עתית של פגעים נותרה מוגבלת. בגלל הבעייתיות של חקר המערכת הכוללת, ממשק הדברה של פגעים מתבסס כיום על מידע שנאסף ברמת החלקה הבודדת. ממשק הדברה מתואם (מסונכרו) בכל חלקות הגידול באזור המכונה 'ממשק הדברה גידולי אזורי' (Area-Wide ICM) מאפשר להתמודד עם הפגעים טוב יותר מאשר ממשק הדברה המתבצע ברמת החלקה הבודדת. ממשק הדברה אזורי חיוני במיוחד במקרים בהם הפגעים מופצים למרחק, כאשר הפגעים הם רב-פונדקאים ובאזורים בהם עונת הגידול של הפונדקאים הרגישים ארוכה ומאפשרת לפגעים לעבור מגידול אחד למשנהו. יישום העקרונות של ממשק הדברה אזורי מחייב מידע וידע על הדינאמיקה של הפגעים בסביבה החקלאית ובסביבה הטבעית הסמוכה לה. היעד של מיזם חוס"ן התפשטות פגעים במרחב הוא להגדיר עקרונות כלליים לגבי הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים במרחב ובזמן לצורך הוספת ממד מרחבי-עתי למערכות תומכות החלטה מרחביות. הוספת הממד המרחבי-עתי תאפשר להפחית את הסיכון של התבססות פגעים ולצמצם את הנזק שהם גורמים. במיזם חוס"ן התפשטות פגעים במרחב אנחנו מתמקדים בארבעה פגעי מודל שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי: כימשון *Phytophthora infestans*; קימחון *Erysiphe necator*, עש האשכול *Lobesia botrana* וזבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) *Ceratitis capitata*.

בשנת המיזם הראשונה אספנו נתונים היסטוריים של השכיחות והחומרה של ארבעת פגעי המודל בחלקות מסחריות והשתמשנו בגישת האקואינפורמטיקה בשילוב ניתוח מרחבי כדי לבחון את הגורמים המשפיעים על הפיזור המרחבי של הפגעים. מניתוח הנתונים עלו תובנות ראשוניות לגבי הגורמים המשפיעים על הפצת זפי"ת, עש האשכול, קימחון הגפן והכימשון במרחב. פיתחנו כלים שיאפשרו בשנות המיזם הבאות לעקוב אחר פיזור הכימשון והקימחון הגפן במרחב ובצענו מעקבים וניסויים ייעודיים לבחינת היפותזות שונות הקשורות להפצת זפי"ת ועש האשכול במרחב. השימוש בנתונים היסטוריים אפשר לפתח (לראשונה) מודל המתאר את הדינמיקה של מחלת הכימשון בזמן ובמרחב בסקלה אזורית. העקרונות ששימשו לפיתוח המודל יכולים להתאים לפיתוח מודלים המתייחסים לפגעים האחרים.

# פרק 1. חקר הדינמיקה של התפשטות פגעים בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית – מבוא

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן פיזור מרחבי

ע"י

דני שטיינברג

מנהל המחקר החקלאי, ראשון לציון

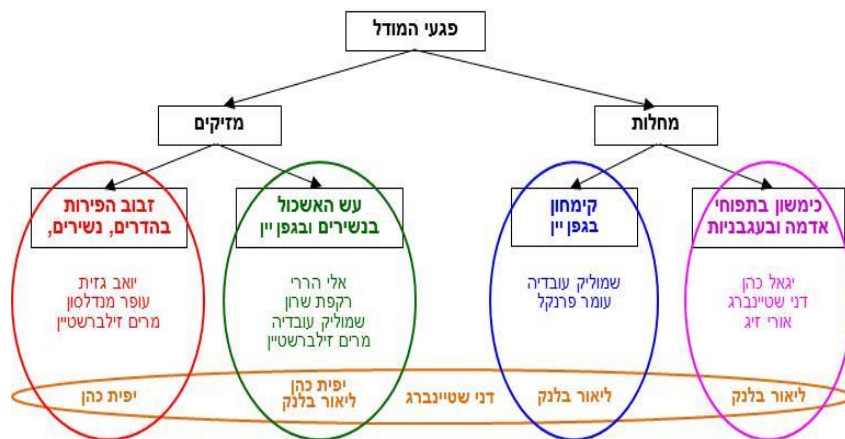
ההתפתחות של פגעים בגידולים חקלאיים בזמן ובמרחב הוא תהליך דינמי מורכב. גורמים רבים, וקשרי הגומלין שביניהם, משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים בזמן ובמרחב. בכלל זה גורמים א-ביוטיים (כמו טמפרטורה ומשך הרטיבות) וגורמים ביוטיים (כמו רגישות הפונדקאי ווקטורים המעבירים ווירוסים). על ההפצה במרחב משפיעים גם גורמים גיאוגרפיים שונים, ההטרוגניות הנופית, והפיזור ומידת הקישוריות (connectivity) של הפונדקאי במרחב. למרות ההתקדמות במחקר בנושא שהתרחשה בשנים האחרונות הידע לגבי ההשפעות של הגורמים השונים על ההטרוגניות המרחבית-עתית של פגעים נותרה מוגבלת. גם האדם, המבצע מניפולציות במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה משפיע. המערכת הביולוגית הכוללת מורכבת עוד יותר מפני שקיים מעבר של פגעים מהמערכת החקלאית למערכת הטבעית הסמוכה, ובחזרה. מכאן עולה שחקר התהליכים המשפיעים על התפתחות פגעים בזמן ובמרחב מהווה אתגר לעוסקים בנושא.

בשנים האחרונות עם התפתחות הטכנולוגיות לאיסוף ושיתוף נתונים ופיתוח מערכות מידע גיאוגרפיות (ממ"ג) משוכללות וכלים סטטיסטיים חדשניים לניתוח נתונים, ובכלל זה נתונים מרחביים, נעשה במחקר החקלאי שימוש בגישה שקבלה את הכינוי 'אקואינפורמטיקה'. על פי גישה זו מנותחים נתוני תצפיות רבים שנאספו במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה (ובכלל זה נתונים גיאוגרפיים). הניתוח מאפשר לאפיין את הגורמים המשפיעים על התפתחות הפגעים ולהגיע לתובנות לגבי הדינמיקה של התפתחות הפגעים בזמן ובמרחב ב"עולם האמיתי". שיטה זו יעילה במיוחד לבחינת השערות בנוגע לתנועה של פגעים בתוך המרחב החקלאי וממנו למרחב הטבעי.

שטחים חקלאיים מאופיינים בדרך כלל בפיזור אקראי של חלקות בגדלים שונים הכוללים (לרוב) מספר גידולים. בגלל הבעייתיות של חקר המערכת הכוללת, ממשק ההדברה של פגעים מתבסס כיום על מידע שנאסף ברמת החלקה הבודדת וזה הבסיס לשיטת ה'הדברה המשולבת' (IPM או ICM). ממשק הדברה מתואם (מסונכרו) בכל חלקות הגידול באזור המכונה 'ממשק הדברה אזורי' (Area-Wide ICM) מאפשר להתמודד עם הפגעים טוב יותר מאשר ממשק הדברה המתבצע ברמת החלקה הבודדת. ממשק הדברה אזורי חיוני במיוחד במקרים בהם הפגעים מופצים למרחק או שהם רב-פונדקאים ובאזורים בהם עונת הגידול של הפונדקאים הרגישים ארוכה ומאפשרת לפגעים לעבור מגידול אחד למשנהו. יישום העקרונות של ממשק הדברה אזורי מחייב מידע וידע על הדינמיקה של הפגעים בסביבה החקלאית ובסביבה הטבעית הסמוכה לה. האופי הדינמי-מרחבי של התהליכים האפידמיולוגיים מציב אתגר ייחודי למחקר ולדרך ניהול התפשטות פגעים בסביבה (הטבעית והחקלאית). בגלל הבעייתיות הקיימת בחקר המערכת הביולוגית הכוללת, ההתמודדות עם פגעים מתבצעת באופן (כמעט) בלעדי ברמת החלקה הבודדת ויש מספר קטן של מקרים בהם ממשק הדברה מיושם בקנה מידה אזורי. מיזם זה עוסק בחקר הגורמים המשפיעים על הדינמיקה של פגעים בזמן ובמרחב; בכונתנו להגיע לתובנות כלליות לגבי התועלת שתושג מפיתוח ושימוש בעקרונות של ממשק הדברה אזורי.

במיזם חוס"ן התפשטות פגעים במרחב אנחנו מתמקדים בארבעה פגעים שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי. הפגעים שנבחרו שונים זה מזה במאפיינים שונים והם משמשים כפגעי מודל במחקר. הפגעים הם:

האואומיצט *Phytophthora infestans* המחולל את מחלת הכימסון בתפוחי אדמה ובעגבניות; הפטרייה *Erysiphe necator* המחוללת את מחלת הקימחון בגפן, עש האשכול *Lobesia botrana* המתקיים על יותר מ- 200 מיני צמחים, וזבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) *Ceratitis capitata* התוקף למעלה מ- 250 פונדקאים. המיזם מתמקד בחקר הגורמים המשפיעים על הפצת פגעי המודל במרחב ובזמן ולשם כך הוקמו ארבעה צוותי מחקר (להלן, 'צוותי פגעי המודל'). אבל הכוונה היא שהמחקר בפגעי המודל יאפשר להגיע לתובנות כלליות לגבי הגורמים המשפיעים על הדינמיקה המרחבית-עיתית של פגעים בכלל. באיור 1 מוצגת המתכונת של המיזם.



**איור מספר 1.** מבנה מיזם חוס"ן אפידמיולוגיה מרחבית. המיזם כולל ארבע צוותי מחקר המתמקדים בפגעי מודל: בסגול – צוות הכימסון, בכחול – צוות הקימחון, בירוק – צוות עש האשכול ובאדום – צוות זבוב הפירות הים תיכוני. בנוסף, קיים צוות העוסק בתחום הניתוח הרב-גורמי המרחבי (מסומן בתרשים בצבע כתום) המתכלל את ממצאי ארבעת צוותי הפגעים.

### היעד של המיזם:

הגדרת עקרונות כלליים לגבי הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים במרחב ובזמן לצורך הוספת ממד מרחבי-עתי למערכות תומכות החלטה מרחביות. הוספת הממד המרחבי-עתי תאפשר להפחית את הסיכון של התבססות פגעים ולצמצם את הנזק שהם גורמים.

### המטרות הספציפיות של המיזם:

1. יישום עקרונות האקואינפורמטיקה והניתוח המרחבי לחקר הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעי המודל בזמן ובמרחב;
2. חקר הגורמים המשפיעים על התפתחות פגעי המודל בזמן ובמרחב בשיטות "קלאסיות" להשלמת פערי ידע והוספת הממד המרחבי-עתי לתהליכי קבלת החלטות המבוצעים לשם בקרה של פגעי המודל;
3. בחינת המתודולוגיות והגדרת עקרונות כלליים לפיתוח ממשקי הדברה משולבת אזורית.

## פרק 2. השפעת שימושי קרקע על תפוצת זבוב הפירות הים תיכוני באמצעות אקואינפורמטיקה, ניתוח מרחבי וניסויים ויעודיים

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן פיזור מרחבי

ע"י

יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, ליאור בלנק  
מנהל המחקר החקלאי

יואב גזית

המכון להדברה ביולוגית ע"ש כהן, מועצת הצמחים

מרים זילברשטיין

מו"פ צפון

עופר מנדלסון

אוניברסיטת תל אביב

### 1. תקציר

זבוב הפירות הים תיכוני (זפ"ית) תוקף למעלה מ-250 מינים של פירות ביניהם כל מיני ההדרים. בשנה הראשונה של מחקר זה בחנו באופן ראשוני את ההשערות: (1) כי הזבוב עובר מגינות פרטיות לפרדסים ו-2) כי הזבוב עובר מהדרים לנשירים ולהיפך. לבחינת ההשערות הללו השתמשנו בגישת האקואינפורמטיקה בשילוב ניתוח מרחבי. לשם כך פותח כלי חצי-אוטומטי לניתוח מרחבי סטטיסטי של בסיסי נתונים גדולים. שימוש בכלי זה לניתוח בסיסי נתונים גדולים מאפשר להציף קשרים אפשריים בזמן קצר בעוד שניסוי בשטח יכול לבחון את השערות הספציפיות שהועלו מתוצאות הניתוח. עם זאת, ישנו צורך בבקרת איכות של הנתונים הנאספים בשגרה. מערך הנתונים הרחב כלל שכבות של מטעים, פרדסים וישובים וכן נתוני ניטור רב-שנתיים של בוגרים באמצעות מלכודות ובדיקת נגיעות בפירות. הנתונים התקבלו מהמכון להדברה ביולוגית, ממו"פ צפון ומהמרכז למיפוי ישראל. בשנת המחקר הראשונה עסקנו באירגון הנתונים ההיסטוריים והתבצע ניתוח מרחבי-סטטיסטי לחלק מן הנתונים. התוצאות מראות כי בתקופות השיא (אוקטובר, נובמבר ולפעמים באפריל ומאי), קיים קשר (שלילי) בין לכידות של הזפ"ית בפרדסים ובין המרחק שלהם מישובים, קרי, ככל שמתרחקים מישוב עד למרחק של 500 מטר מספר הלכידות במלכודות יורד. מ 500 מטר והלאה מספר הלכידות מתייצב. התופעה חזרה על עצמה במשך שלוש עונות. תוצאות אלו מחזקות את ההשערה כי הזבוב עובר מגינות פרטיות לפרדסים. בנוסף, נמצא קשר חיובי בין שטחי אגס המקיפים פרדסים ללכידות בהדרים בחודשים אוקטובר-דצמבר, קרי, הלכידות בהדרים בתקופה זו עולות ככל ששטח מטעי האגס המקיף אותם עולה. התופעה חזרה על עצמה במשך שתי עונות. לא נמצאו קשרים דומים עם מטעי נשירים אחרים כמו תפוח ושיזף ולא נמצא קשר הפוך בין הדרים לאגס. הקשר בין אגס להדרים מחזק את ההשערה השנייה: הזבוב עובר ממתעי אגס להדרים. לבחינה השערה זו נערך ניסוי ייעודי באמצעות פיזור זבובים עקרים מסומנים בחמישה צמדים של פרדס ואגס מתאימים בגודלם בגליל העליון וברמת הגולן. הזבובים שפוזרו בהדרים סומנו בוורוד ואלו שבאגסים בצהוב. יום או יומיים לאחר הפיזור, נתלו בכל מטע 10 מלכודות ג'קסון עם נדיפית טרימדלור (סה"כ 100 מלכודות). ספירת הזבובים הצביעה על מעבר של הזבוב בין שני המטעים האלו. ממצאי ניתוח הנתונים ההיסטוריים מאששים את



שתי ההשערות כאשר בין הגידולים נראית כיוונית של גידול האגס כמקור לזבוב בהדרים. ממצאי הניסוי הייעודי מחזקים את השערה 2 אך מראים הדדיות במעבר בין האגס להדרים.

## 2. מבוא

בעוד שברוב המחקרים האפידמיולוגיים במערכות חקלאיות מתמקדים בשדות וצמחים בודדים, אחד האתגרים הגדולים בשיפור הגנת הצומח דורש מעבר מניהול החלקה הבודדת לניהול אזורי. לרוב פיזור הפגעים במרחב ומידת הנזק שהם גורמים אינה הומוגנית. גורמים רבים, וקשרי הגומלין שבניהם, משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים בזמן ובמרחב. בכלל זה גורמים א-ביוטיים (כמו טמפרטורה, משך רטיבות, גשם, רוחות, וכו') וגורמים ביוטיים (כמו רגישות הפונדקאי, מעורבות של אורגניזמים אחרים כמו וקטורים המעבירים ווירוסים וכו'). על ההפצה במרחב משפיעים גם גורמים גיאוגרפיים שונים (כמו סוג הקרקע, התבליט, האקלים וכו'), ההטרוגניות הנופית, הפיזור המרחבי ומידת הקישוריות של אוכלוסיות הפונדקאי במרחב. עד לשנים האחרונות מחקרים בתחום הגנת הצומח התבססו על איסוף מידע ידני; מחקר בתנאי מעבדה; ואיסוף מספר קטן של נתונים למען הסקת מסקנות. הבעיה היא שבגלל מורכבות המערכת הביולוגית והמספר הרב של הגורמים העשויים להשפיע על הפגע וחומרת פגיעתו, לא ניתן להגדיר בניסויים מבוקרים את החשיבות של גורם בדיד זה או אחר ולהגיע למסקנה מהימנה לגבי תרומתו מפני שהשפעתו עשויה להיות תלויה בגורמים נוספים אשר לא נכללו בניסויים. יותר מכך, ניסויים מבוקרים עשויים להניב ממצאים שהם אמנם נכונים אך חלקיים היות ואינם מייצגים את תנאי הגידול המסחריים. הדרך האפשרית היחידה להתגבר על בעיה מחקרית זו היא לעסוק במערכת הטבעית-חקלאית הכוללת. זאת, על ידי איסוף נתונים כמותיים המבטאים את התהליכים המתרחשים במערכת המשקית וניתוחם בכלים מתאימים. בשנים האחרונות, עם התפתחות הטכנולוגיות לאיסוף ושיתוף נתונים ופיתוח מערכות מידע גיאוגרפיות וכלים סטטיסטיים חדשניים לניתוח נתונים, ובכלל זה נתונים מרחביים, נעשה במחקר החקלאי שימוש בגישה שקבלה את הכינוי 'אקואינפורמטיקה'. על פי גישה זו מנותחים נתוני תצפיות רבים שנאספו במערכת החקלאית ובסביבתה הקרובה. הניתוח מאפשר לאפיין את הגורמים המשפיעים על תפוצת הפגעים ולהגיע לתובנות לגבי הדינאמיקה של הפגעים בזמן ובמרחב. שיטה זו יעילה במיוחד לבחינת השערות בנוגע לתנועה של פגעים בתוך המרחב החקלאי וממנו למרחב הטבעי או הבנוי.

היעד המרכזי של המחקר הנוכחי היה לאפיין את התרומה של האקואינפורמטיקה לשם הבנת הגורמים המרחביים המשפיעים על התפשטות זבוב הפירות הים תיכוני, *Ceratitis capitata*, (זפי"ת). הזפי"ת תוקף למעלה מ-250 מינים של פירות ביניהם כל ההדרים, מגוון של נשירים וסוב-טרופיים. הנקבה הבוגרת מסוגלת לשרוד כמה חודשים בשטח ולהטיל כמה מאות ביצים. אוכלוסיית הזבוב מורכבת ברובה מהדרות המתפתחות כשאוכלוסיית הבוגרים מהווה כ-10%. ניטור זפי"ת בעולם בכלל ובהדרים בארץ בפרט מבוצע בעיקר באמצעות מלכודות טרימדלור - חומר שמושך זכרים בלבד. שיטת ניטור זו מבוססת על ההנחות ששיעור הזכרים זהה לזה של הנקבות ושהפיזור המרחבי שלהם, דומה לזה של הנקבות. באזורים בהם משתמשים בזכרים מעוקרים מתבצע גם ניטור של נקבות באמצעות מלכודות המבוססות על מושכני מזון סינתטיים ('ביולור'). במטעי נשירים מתבצע ניטור של נקבות כנייל גם בעונת האביב והקיץ, ונעשה שימוש בנתוני הלכידות לקבלת החלטות לריסוס. לאחרונה פותחה בארץ מערכת תומכת החלטה מרחבית לריסוס בהדרים אולם אין במערכת התייחסות לתנועה בין פונדקאים ובין המערכות החקלאית, הטבעית והמיושבת. בניסויים שבוצעו בעולם ובשנים האחרונות גם בארץ, נחקרו נושאים שונים הקשורים לשרידות ולאופי הפיזור של זבובים מעוקרים במרחב ביחס לאילו של זבובי הבר אולם גם במחקרים אלה לא הייתה התייחסות לתנועה של הזבוב בערכת החקלאית הכוללת ובסביבתה.

מערך נתוני הניטור של בוגרי הזפי"ת בהדרים ונתונים נלווים כמו תפוצת הפרדסים, זמינים משנת 2011 בקנה מידה ארצי. מערך נתוני הניטור של בוגרי הזפי"ת ושל נגיעות בזחלים וביצים בפירות במטעי הנשירים ונתונים נלווים כמו תפוצת המטעים זמינים משנת 2012 לצפון הארץ. זהו בסיס נתונים רחב ומקיף שטרם נחקר ואשר נותן הזדמנות יוצאת דופן כדי לאפיין גורמים מרחביים המשפיעים על פיזור הזפי"ת. הנתונים נאספים מחלקות מסחריות ולאורך שנים ולכן מייצגים נתוני ניהול וגידול אמיתיים תחת תנאים שונים ובכך מגדילים את הסיכוי כי מסקנותינו תובהקנה/ תאומתנה. בשנת המחקר הראשונה התמקדנו בארגון הנתונים ההיסטוריים אשר נאספו בשנים האחרונות ואיתרנו קשרים מרחביים המסייעים בבחינת שתי השערות (רוחות: 1) כי הזבוב עובר מגינות פרטיות לפרדסים ו-2) כי הזבוב עובר בין הדרים ונשירים.

### 3. תיאור הניסויים שבוצעו

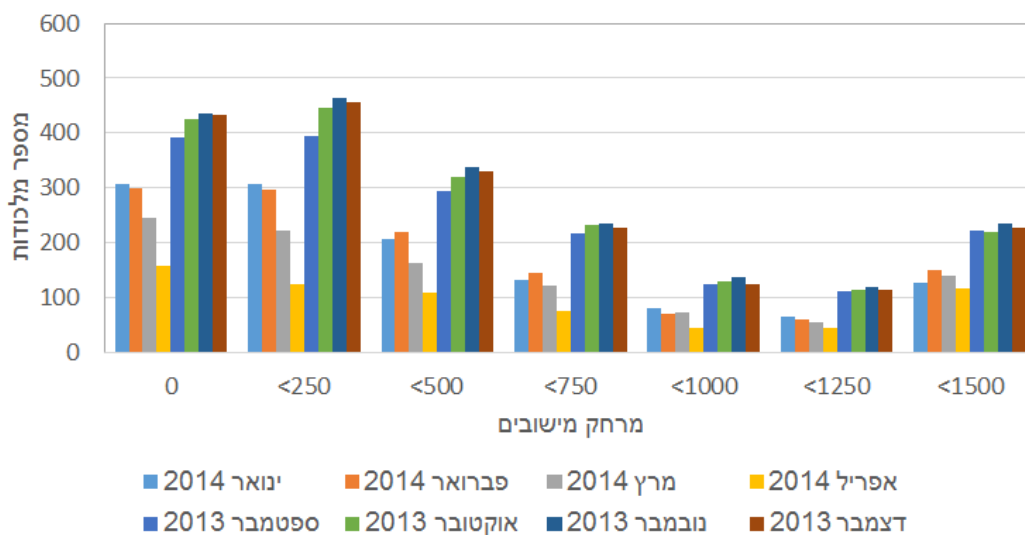
#### 3.1 השפעת הקרבה לישובים על שפע הלכידות בהדרים לאורך עונת הגידול

בסיס הנתונים מרחבי-היסטורי התקבל מהמכון להדברה ביולוגית ומהמרכז למיפוי ישראל וכלל: שכבת פרדסים (מעל 1450 חלקות), שכבת מלכודות (נתוני לכידות שבועיים מכ-2500 מלכודות), שכבת ישובים (מעל 1800), ונתוני לכידות. מצי"ב קישור למפת נתוני לכידות של הזבוב בהדרים בקנה מידה ארצי:

[https://fusiontables.google.com/DataSource?docid=19KgXK62Is9eLV03ieGt8Kupbnz2wprtteD6\\_TMr\\_Y#map:id=3](https://fusiontables.google.com/DataSource?docid=19KgXK62Is9eLV03ieGt8Kupbnz2wprtteD6_TMr_Y#map:id=3)

התמקדנו בשלוש עונות גידול 2013-2014, 2014-2015 ו-2015-2016 על מנת לבחון את השפעת קרבת הישובים על לכידות בוגרים בהדרים. ההשערה הרווחת בקרב חוקרים, חקלאים, מדריכים, נטרים ורכזי הדברה הינה שגינות בישובים מהוות מקור לזפיית לפרדסים הסמוכים. על מנת לבחון את ההשערה הזו השתמשנו בבסיס הנתונים המתואר לבדוק את הקשר בין לכידות בפרדסים ובין המרחק מיושבים. במידה שהשערה זו נכונה נמצא ירידה בלכידות בחלקות הממוקמות רחוק יותר מישובים.

ניתוח הנתונים התבסס על חישוב המרחק הקטן ביותר של כל מלכודת מישוב, חלוקת המלכודות לפי טווחי מרחקים מישובים, ממוצע לכידות בכל טווח, מיצוע לכידות כפונקציה של מרחק מישוב בחודשים שונים ובאזורים שונים של הארץ. ארגון הנתונים, בדיקות איכות וניתוח הנתונים נעשו באמצעות תוכנת ArcGIS. איור 1 מראה את מספר המלכודות המנוטרות בכל חודש בפרדסים מתוך בסיס הנתונים של המכון להדברה ביולוגית מחולק לפי המרחקים השונים מהישובים. ניתן לראות שמדובר בבסיס נתונים גדול (לדוגמא- מעל 400 מלכודות במרחק 250 מ' מישובים). באיור מוצגים נתונים מעונת 2013-14. הנתונים משתי העונות האחרות דומים מאוד.

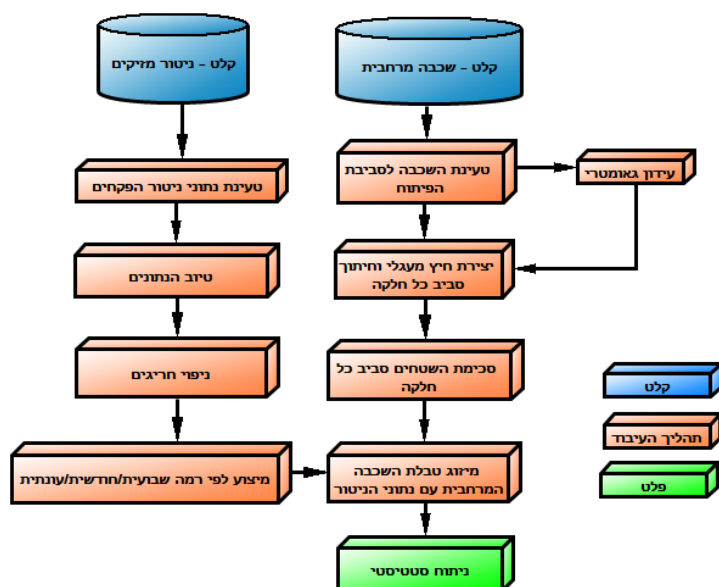


**איור מספר 1.** מספר המלכודות המהווה בסיס הנתונים מעונת 2013-14 לניתוח מרחבי בגישת האקואינפורמטיקה. כיוון שהניטור מתבצע רק בחלקות מניבות, ככל שהעונה מתקדמת יותר פרדסים נקטפים ולכן פחות מלכודות מנוטרות. **0 מתייחס לפרדס שנמצא בתוך שטח המוניציפאלי של הישוב**

#### 3.2 השפעת קרבה בין נשירים והדרים על אוכלוסיית זפיית ו/או נגיעות בפירות

**3.2.1 ניתוח מרחבי-עתי וסטטיסטי:** הנתונים התקבלו מבסיסי הנתונים שברשות המכון להדברה ביולוגית ע"ש ישראל כהן ושרשות מו"פ צפון. הניתוח המרחבי-עתי והסטטיסטי התבצע ע"י כלי חצי-אוטומטי שנכתב בסביבת R (איור 2) (שרעבי וחכון 2016). הכלי מקבל קלט של מידע מרחבי של גידולים חקלאיים באזור נבחר ועליהם מתבצעת יצירה של חייצים מעגליים (Buffer) במרווחים המוגדרים על-ידי המשתמש.

לכל חיץ מתבצע חיתוך עם שכבת המטעים המאפשר זיהוי של שטחי הגידולים המקיפים את מטעי הגידול הנבדק תחת אותו חיץ נבדק. מספר וגודל החיצים ניתן לשינוי בכלי. בשלב הבא, מתבצעת סכימה של שטחי המטעים המקיפים את המטעים של הגידול הנבדק לפי סוג גידול בכל חיץ. במקביל הכלי מקבל קלט נוסף של נתוני הנגיעות (ביצים, זחלים) או לכידות בוגרים במטעים של הגידול הנבדק. הנתונים עוברים תהליך של ניפוי חריגים ומיצוע טבלת נגיעות לפי רמה שבועית/חודשית/שנתית. לאחר תהליך מיצוע נגיעות וביצוע המניפולציות המרחביות מתבצע מיזוג של נתוני הניטור הטבלאיים עם הטבלה שמכילה את מטעי הגידול הנבדק, שטח מטעי הגידול המקיף אותם בכל חיץ נבדק. על הטבלה החדשה מתבצע ניתוח סטטיסטי שמאפשר בין היתר לחשב מתאמים בין שטח של גידול מקור (מקיף) ובין נגיעות בגידול המובלע (מוקף) במרחקים שונים ובתקופות שונות.



איור מספר 2. תרשים זרימה של תהליך העיבוד והניתוח בכלי

בסיס הנתונים מרחבי-היסטורי (2016-2012) של חלקות ההדרים ולכידות הזבובים התקבל מהמכון להדברה ביולוגית. בסיס הנתונים של נשירים ונגיעות התקבל ממו"פ צפון באמצעות מערכת Agritask. משנת 2012 יש נתוני לכידות ונגיעות במטעי עצים נשירים על שטח של כ-65 אלף דונם. נעשה שימוש בכלי לניתוח מרחבי סטטיסטי המתואר לעיל על מנת לחשב את שטח הגידולים הנשירים סביב הפרדסים במרחקים הבאים: עד מרחק 250, 500, 750, 1000 ו-1500 מ' ולהשוות אותו אל מול לכידות במלכודות בפרדסים. לאחר מכן חושבו מתאמים בין שטחי סוגי הנשירים השונים מול הלכידות בפרדסים על מנת לאתר את הנשירים להם נראה כי יש השפעה על הלכידות. בצורה דומה נעשה ניתוח לחישוב מתאמים בין שטחי פרדסים לנגיעות בפירות במטעי הנשירים השונים. התוצאות הראו כי קיים קשר בין שטח האגסים המקיף הדרים ובין הלכידות בהדרים אשר עשוי להצביע על מעבר של זבובים מאגסים להדרים. לבחינת ההשערה בוצע ניסוי ייעודי כמתואר בסעיף הבא.

**3.2.2 ניסוי ייעודי:** התבצע פיזור זבובים עקרים מסומנים בחמישה צמדים של פרדס ומטע אגס מתאימים בגודלם (10 דונם) ובצורתם (רבעות ככל האפשר) ונטועות בסמיכות באזור ראש פינה וברמת הגולן. שקית עם 2.5 ליטר גלמים מעוקרים של זכרים של הזפיי"ת, זן 'יונה-8' התקבלה ממפעל ביובי שדה אליהו. הגלמים אובקו במכון בשני צבעים פלורוסנטיים שניתן להבדיל ביניהם, רוד או צהוב (DayGlo®; DayGlo Color, Cleveland, OH, USA) ביחס של 2 גרי אבקה לליטר גלמים. הגלמים המאובקים חולקו למנות בנות כ-9,000 גלמים כל אחת (לפי משקל) אשר הוכנסו לשקיות נייר במידה 30\*17\*30 ס"מ (המשמשות לפיזור קרקעי של זבובים מעוקרים) יחד עם מגשית עם ג'ל מסוכר (15% סוכרוז ב-1% אגר). הזבובים הודגרו בתנאים מבוקרים של  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  עם  $10\% \pm 60$  לחות יחסית למשך 6 ימים, עד שהבוגרים הגיעו לבשלות מינית (בני 4 ימים).

פיזור הזבובים נערך פעמיים: ב- 29.8.16 וב- 7.11.16. במטעי האגס פוזרו זבובים מסומנים בצהוב ובפרדסי ההדרים זבובים מסומנים בוורוד. בנקודת הפיזור נפתחו שתי הדפנות הנגדיות של שקית אחת עם זבובים ואחר כך השקית מוקמה על העץ הקרוב כדי לאפשר לזבובים לצאת ממנה בחופשיות. יום או יומיים אחרי הפיזור, נתלו בכל מטע 10 מלכודות ג'קסון עם נדיפית טרימדלור: המלכודות נתלו במרחק 20 - 25 מטר ביניהן ובהתייחסות למיקום המטע השכן - חמש מלכודות נתלו בשורה המרוחקת 25 מ' לפני נקודת הפיזור ו- 5 בשורה המרוחקת 25 אחרי נקודת הפיזור. עקרונית הזבובים מופצים לפי חמישה דפוסים אפשריים: (א) אין הגירה, הזבובים מעדיפים להישאר היכן שפוזרו; (ב) יש הגירה מלאה, כל הזבובים יעברו למטע השכן; (ג) התפוצה אקראית ותלויה במרחקים קצרים מנקודת הפיזור; (ד) התפוצה אקראית ותלויה במרחקים ארוכים מנקודת הפיזור; (ה) השפעת גורם חיצוני על התפוצה. כל המלכודות נבדקו יום או יומיים אחרי התלייה באמצעות בינוקולר מצויד בתאורה שחורה (Black-Light) (StockerYale, ) Superlight™ Model 18; (Salem, NH, USA) לזיהוי הסמן הפלורסנטי. כל הזבובים המסומנים נספרו ונרשמו לפי צבעם. זבובים ללא צבע נרשמו כזבובי בר.

## 4. תוצאות

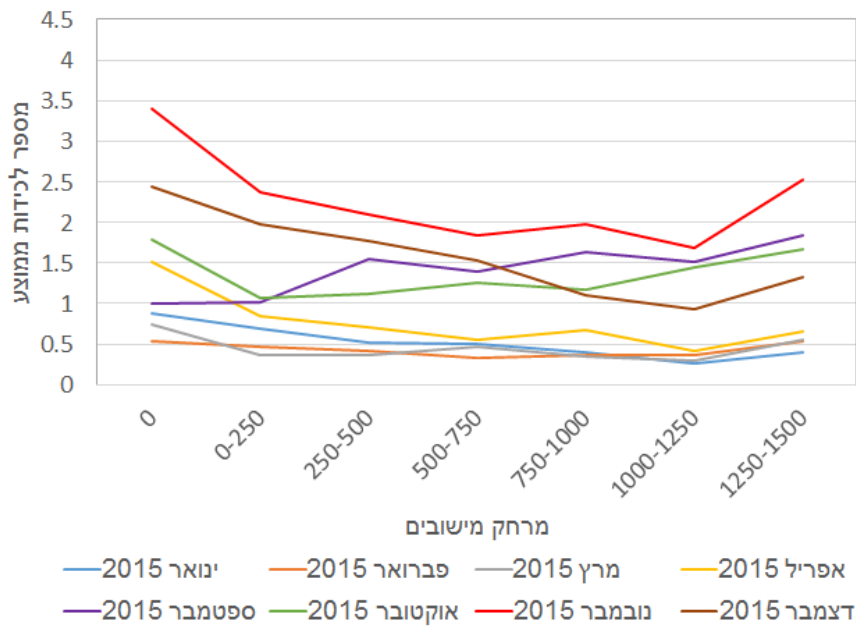
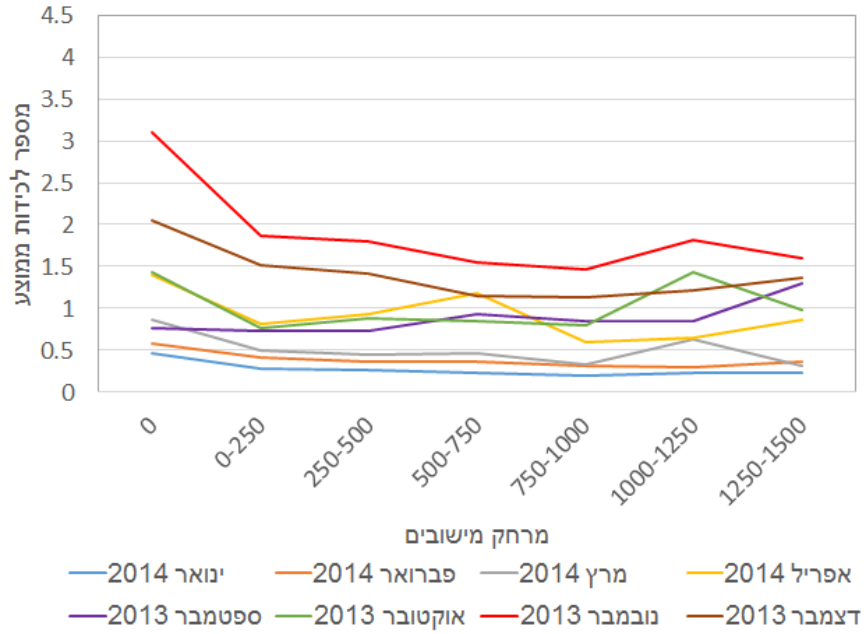
### 4.1 השפעת הקרבה לישובים על שפע הלכידות במלכודות בהדרים

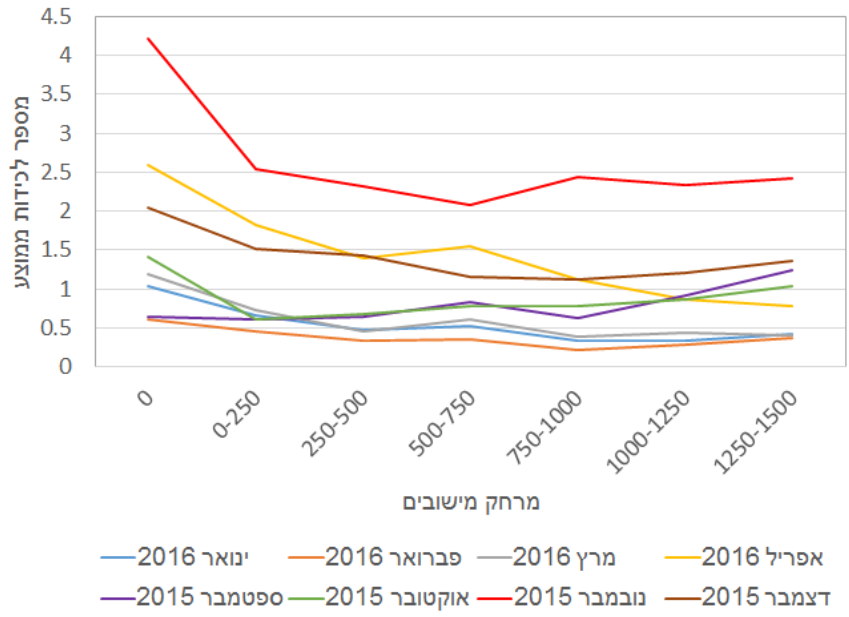
באיור מספר 3 מוצג ממוצע הלכידות של הזפ"ית במלכודות בהדרים ביחס למרחק של המלכודות מישובים לאורך שלוש עונות גידול. התוצאות מראות כי בתקופות השיא (אוקטובר, נובמבר ולפעמים באפריל ומאי), קיים קשר שלילי בין לכידות של הזפ"ית בפרדסים ובין המרחק שלהם מישובים, קרי, מספר הלכידות במלכודות יורד ככל שמתרחקים מישוב עד למרחק של 500 מטר אשר ממנו והלאה מספר הלכידות מתייצב. התופעה חזרה על עצמה במשך שלוש עונות. המגמה חוזרת על עצמה גם כאשר מחלקים את הארץ לאזורים שונים.

### 4.2 השפעת קרבה בין נשירים להדרים על אוכלוסית זפ"ית ו/או נגיעות בפירות

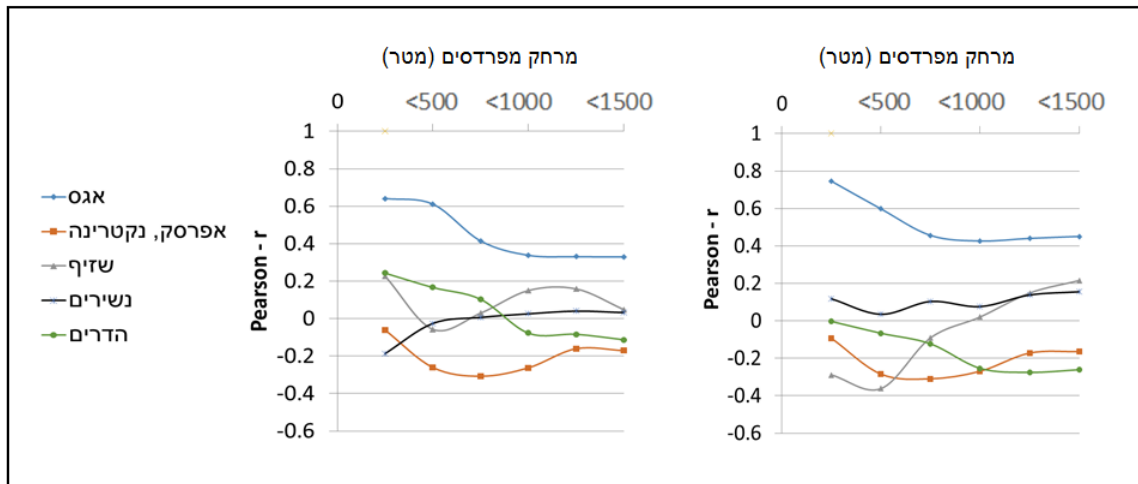
4.2.1 ניתוח מרחבי-עתי וסטטיסטי: נבדקו קשרים בין שטח של מיני נשירים שונים (כגון תפוח, אגס, אפרסק) ובין לכידות בוגרים בפרדסים. לאחר מיצוע טבלת קורלציות לחודשי אוקטובר-דצמבר (עונת השיא של הזפ"ית), נמצא שמבין הנשירים השונים ישנו מתאם גבוה יחסית בין לכידות בפרדסים ובין שטח האגס המקיף אותם (איור מספר 4). מתאם פירסון עמד על כ 0.7 בין שטח האגס ללכידות בהדרים בחיץ של 250 מטר סביב חלקות ההדרים והוא יורד ככל שהמרחק גדל עד להתייצבות במרחק של 750 מטר. לשאר הנשירים הנבדקים נמצא מתאם פירסון שנע בין 0.2- ל 0.2+ ונשאר יחסית יציב. המגמה חזרה על עצמה בשתי עונות גידול. כאשר מתמקדים בחיץ של 500 מ' סביב הדרים, בו נמצא מקדם ספירמן גבוה, ומאחדים את הנתונים משתי העונות, נראה כי קיימת עליה אקספוננציאלית בין שטח האגס המקיף פרדסים ובין הלכידות בפרדסים: עד לשטח של 150 דונם הלכידות יציבות ונמוכות יחסית (קטנות מ-10) אבל כאשר שטח האגס המקיף את ההדרים עולה על 200 דונם, הלכידות בהדרים עולות לכמעט 20 (איור מספר 5). לא נמצאו קשרים דומים כאשר נגיעות בפירות בנשירים הושוותה עם שטח הפרדסים המקיפים אותם.

4.2.2 ניסוי ייעודי: תוצאות הניתוח בשיטה זו הוביל לניסוי שטח ובדיקת מעבר של זפ"ית בין חלקות אגסים והדרים. התוצאות המוצגות בדוח מתייחסות לניסוי שנעשה בנובמבר 2016 בלבד. ספירת הלכידות בחמשת הצמדים של הניסוי הראתה כי בכל חמשת הצמדים שנבדקו היה מעבר מפרדסים לאגסים ובארבעה מתוך חמישה צמדים היה מעבר מאגסים לפרדסים. מתוך כלל הזבובים שפוזרו באגסים ונלכדו בכלל המלכודות נלכדו בהדרים בממוצע 24% (עם טווח של 3%-53%). מתוך כלל הזבובים שפוזרו בהדרים ונלכדו בכלל המלכודות נלכדו באגסים בממוצע 35% (עם טווח של 9%-82%). דוגמא לפיזור בין המלכודות מוצגת לשני צמדים באיור מספר 6. איור מספר 7 מתאר בצורה מרחבית את המעבר של הזבובים מהדרים לאגסים ולהיפך. הזבובים ששחררו באגסים (צהוב) נמצאו בכמות הגדולה ביותר באגסים אך היה מעבר גם לחלקה הסמוכה של ההדרים. גם באליעד וגם בכנף הזבובים שפוזרו באגסים (צהוב) נלכדו ברובם באגסים אך נמצאו גם בהדרים בכמות קטנה יותר. זבובים שפוזרו בהדרים (ורוד) גם הם נשארו ברובם בהדרים אך עברו גם לאגסים הקרובים.

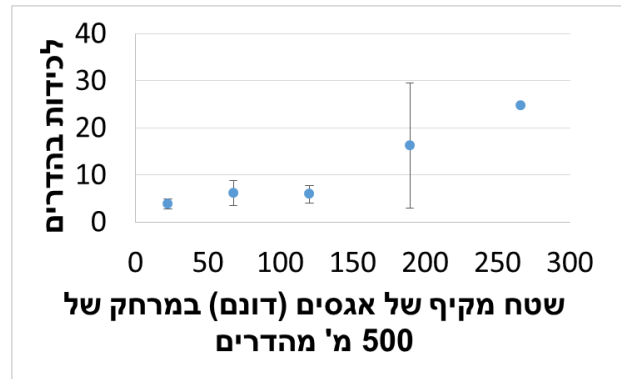




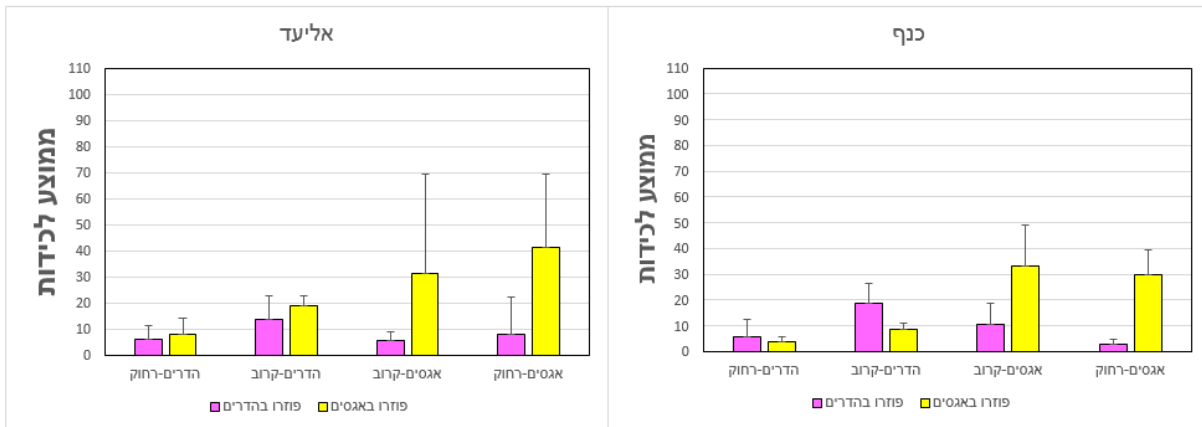
**איור מספר 3.** ממוצע לכידות ארצי לפי חודש כפונקציה של מרחק מישוים משלוש עונות



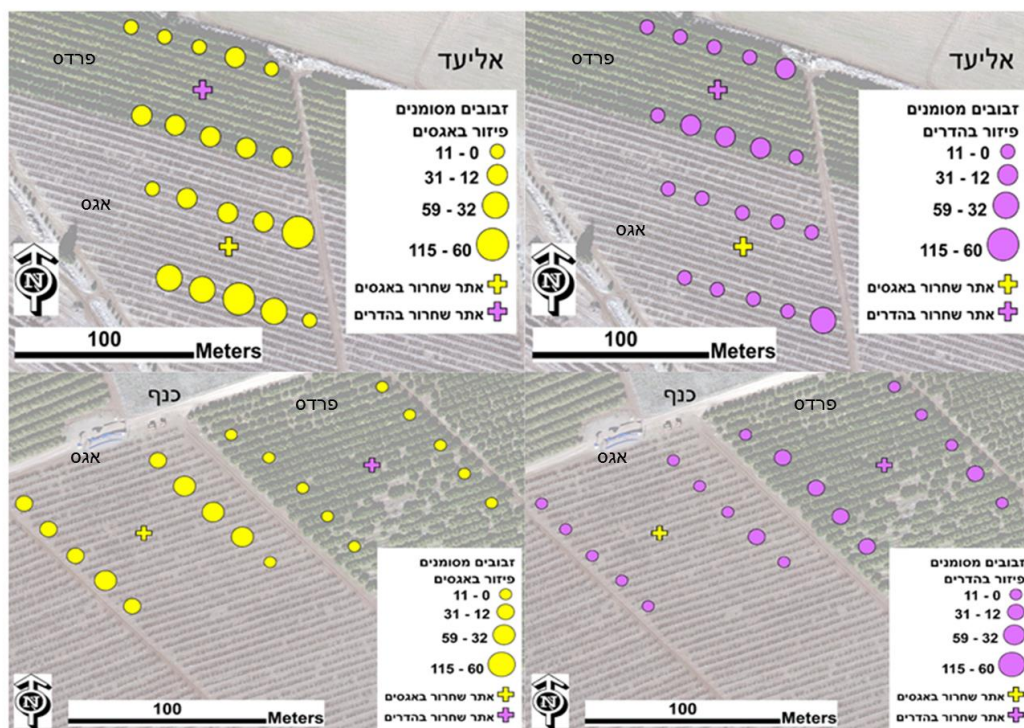
**איור מספר 4.** מתאם לחודשים אוקטובר-דצמבר בין שטחים של עצי פרי נשירים לממוצע לכידות בהדרים כפונקציה של מרחק. ימין: 2015. שמאל: 2016



**איור מספר 5.** לכידות בהדרים כפונקציה של שטח האגסים המקיף את ההדרים בחיץ של 500 מ' סביב ההדרים



**איור מספר 6.** ממוצע לכידות כפונקציה של מקום שחרור הזבובים באליעד ובכנף. אגסים-רחוק - מלכודות הממוקמות מעבר לנקודת הפיזור באגסים לכוון השוליים המרוחקים של החלקה; אגסים-קרוב - מלכודות הממוקמות לפני נקודת הפיזור באגסים, בקרבה יחסית לשולים הגובלים בפרדס; הדרים קרוב - מלכודות הממוקמות לפני נקודת הפיזור בהדרים, בקרבה יחסית לשולים הגובלים במטע האגס; הדרים-רחוק - מלכודות הממוקמות מעבר לנקודת הפיזור בהדרים לכוון השוליים המרוחקים של הפרדס



איור מספר 7. מספר זבובים מסומנים לכודים ששחררו בהדרים (ורוד) ובאגסים (צהוב) בשני אתרים

## 5. דיון

היעד המרכזי של המחקר הנוכחי הוא לאפיין את התרומה של שיטת האקואינפורמטיקה, קרי ניתוח נתוני תצפיות ממרחבים גדולים ובתקופות ארוכות יחסית, להבנת הגורמים המרחביים המשפיעים על התפשטות הזפ"ית. לשם כך, פותח כלי סטטיסטי המתבסס על מיפוי מרחבי ונתוני ניטור פגעים ובוחר את יחסי הגומלין בניהם. בסיס הנתונים הרחב שעומד בפנינו מאפשר לנתח את הנתונים בשיטת האקואינפורמטיקה והכלי מקצר את זמן הניתוח בעשרות אחוזים ומאפשר לקבל תמונה מקיפה על הדינמיקה של פגעים שונים בזמן ובמרחב. בשנת המחקר הראשונה התמקדנו בארגון הנתונים ההיסטוריים אשר נאספו בשנים האחרונות ואיתרנו קשרים מרחביים המסייעים בבחינת שתי השערות רווחות: (1) הזבוב עובר מגינות פרטיות לפרדסים (2) הזבוב עובר בין הדרים ונשירים.

בחינת ההשערה הראשונה: תוצאות המתבססות על נתונים ארציים משלוש עונות עוקבות מראות כי קיים קשר (שלילי) בין לכידות של הזפ"ית בפרדסים בתקופות השיא, בעיקר הסתווי, ובין המרחק שלהם מישובים. מספר הלכידות במלכודות יורד בצורה לא ליניארית ככל שמתרחקים מישוב עד למרחק של 500 מטר. תוצאה זו עשויה לחזק את ההשערה כי הזבוב עובר מגינות פרטיות לפרדסים בגלל היעדר טיפול מסודר בגינות הפרטיות. אולם יש לסייג זאת. באמצעות בסיס הנתונים שהיו ברשותנו בחנו גורם אחד המשפיע על הלכידות בעוד שיכולים להיות גורמים אחרים משפיעים. למשל, הריסוס בקרבת ישובים עד למרחק של 50 מ' מהבתים נעשה מהקרקה ואילו ממרחק 50 מ' הריסוס נעשה מהאוויר. יכול להיות שההבדל בסוג הריסוס משפיע ולא דווקא הקרבה לגינות פרטיות. דבר נוסף, יש לבדוק אם לפרדסים בקרבת ישובים יש מאפיינים אחרים מאשר לאלה שבמרחק גדול יותר. למשל, הם בעלי שטח קטן יותר או שהם מתאפיינים בגושים קטנים יותר. חלק מן הגורמים כמו גודל פרדסים וגושים, סוג הישוב הקרוב ביותר (כפרי או עירוני) וזני הדרים נוכל לבחון בשנה השנייה באמצעות הרחבת בסיס הנתונים שנבנה כך שיכלול גורמים נוספים. הקשרים ייבחנו באמצעות ניתוח רב-גורמי.



בחינת ההשערה השנייה: תוצאות המתבססות על שתי עונות גידול מראות שמכלל הנשירים נמצא קשר בין שטח מטעי האגס סביב הפרדסים והלכידות של זפ"ית בפרדסים בתקופת השיא הסתווי בלבד. הקשר מסביר כ-25% מהשונות של הלכידות בהדרים. לא נמצא קשר הפוך. קשר כזה מחזק את ההשערה כי הזבוב עובר מאגסים לפרדסים שבקרבתם. על מנת לבחון בצורה יותר ודאית את ההשערה של מעבר, בוצע ניסוי ייעודי באמצעות פיזור זבובים עקרים. תוצאות הניסוי בתקופת הסתיו הראו כי נלכדו זבובים רבים יותר באגסים וכי ישנו מעבר של כ-20% בין 2 סוגי הגידולים ולא רק בין האגסים לפרדסים. הנחת היסוד היא שהמצב הפנולוגי של המטעים משפיע על דפוס ההגירה. בסתיו - בפרדסים יש בעיקר פרי ירוק ובוסרי ואילו באגסים מדובר על חודשיים לאחר הקטיף. כלומר, לא צפוי שלזבוב תהיה העדפה מסוימת מבחינת פונדקאים. יותר מזה, היה צורך להסביר כיצד שורדים זבובים באגסים ללא פרי. במהלך הצבת המלכודות, נצפו זבובים במטעי האגסים ניזונים מטל דבש שישנו על העצים (נוכחות של כנימות) וכן ידוע שבמשפחת הורדניים (כמו האגס) יש צופנים בחיק העלים, תופעה המסבירה את יכולת הזבוב לשרוד. תוצאות האקואינפורמטיקה, לפיהן מתקיים מעבר מסוים מאגסים לפרדסים, אוששו באמצעות הניסוי בשטח. עם זאת יש לסייג את התובנות. הניסוי בשטח הראה כי קיים גם מעבר בכיוון ההפוך, קרי, בין הדרים לאגסים. לזה לא נמצאה תמיכה בניתוח התצפיות, קרי, לא נמצא קשר בין נגיעות באגסים ובין שטח ההדרים המקיף. עובדה זו יכולה להיות מוסברת על-ידי הפנולוגיה: בתקופת הסתיו גם אם יש מעבר מההדרים, הזבוב לא יכול לפגוע בפרי מכיוון שאין פרי. מכל מקום, על מנת להגיע לתובנות מוצקות יותר, אנו נחזור על הניסוי בתקופת השיא באביב ובקיץ כאשר נשלב בניסוי, לא רק צמדים של פרדסים ואגסים אלא גם צמדים של פרדסים עם נשירים אחרים, להם לא אותרו קשרים על הלכידות בהדרים כדי שיהוו ביקורת.

בנוסף לכל אלה, יש להתייחס גם לשונות הגבוהה בלכידות בין הפרדסים המוקפים בשטח גדול של אגסים. כדי לתקוף את הנושא הזה, נרחיב את בסיס הנתונים כך שיכלול משתנים מסבירים נוספים כמו מועדי קטיף, גודל מטעים וגושים, שנת נטיעה, יבול, שיטות הדברה וסניטציה.

## 6. הבעת תודה

אנו מודים לטל שרעבי ומאור חכון על התרומה בכתיבת הקוד בסביבת R. תודה מיוחדת לואלרי ממוי"פ צפון ולדורון טימר מהמכון להדברה ביולוגית על ארגון נתוני החלקות והניטור.

## פרק 3. דינמיקה של התפשטות עש האשכול בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן פיזור מרחבי

ע"י

רקפת שרון

מו"פ צפון

יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, ליאור בלנק, אלי הררי  
מנהל המחקר החקלאי

### 1. תקציר

עש האשכול הוא מזיק פרי רב-פונדקאים לדוגמא: גפן, רימון, אפרסק, שזיף, אגס, תפוח ועוד. מטרת המחקר המרכזית היתה לבחון אם אוכלוסיות עש האשכול נעות בין פונדקאים שונים. לצורך זה, הוצגו שתי היפותזות: על פי היפותזה הראשונה הנקבה המזווגת עוקבת אחר נדיפים שמקורם בפונדקאים השונים ומטילה באלו המועדפים עליה, בשלבים הפנולוגיים המתאימים. על פי ההיפותזה השנייה, הנקבה מעדיפה להטיל בפונדקאים בהם היא החלה את חייה כזחל. על פי היפותזה השנייה אוכלוסיית המזיק תישאר יציבה בתוך החלקה והמעבר בין פונדקאים יהיה מזערי. בחינת ההשערות בוצעה בגישת האקואינפורמטיקה וניתוח מרחבי ברמה אזורית ובאמצעות ניתוח מובנה של דינמיקה בזמן ודגמי פיזור בין ובתוך מטעים. בשיטה הראשונה, השתמשנו בבסיס נתונים רחב, הכולל מספר שנים, שהתקבל מניטורים שבועיים שגרתיים של פקחים ופקחיות במטעים באזור מושבות השומרון ורוכזו בשרת של חברת Agritask. בגישת האקואינפורמטיקה עסקנו בארגון הנתונים ההיסטוריים שנאספו במהלך השנים והתבצע ניתוח סטטיסטי מרחבי על מנת ללמוד על גורמים מרחביים המשפיעים על אוכלוסיית עש האשכול. לניתוח דגמי פיזור בין ובתוך מטעים נערך ניסוי ב-4 צמדים של כרם ורימון ו-4 צמדים של כרם ונקטרינה. גודל כל צמד 20-40 דונם. בכל צמד נותרה נוכחות זכרים באמצעות מלכודות בחודשים מרץ-דצמבר בתדירות של פעמיים בחודש. מלכודות הזכרים הוצבו בכל פאת מטע ואחת במרכז (סה"כ 5 בכל מטע). בנוסף בוצע ניטור נגיעות של ביצים וזחלים בפירות, כמדד לתפוצת הנקבות והעדפת אתר הטלה. ניטור הנגיעות נעשה ב-100 עצים בפיזור אחיד בכל מטע (סה"כ 800 עצים, כאשר 4 פירות/אשכולות נוטרו בכל עץ) מספר פעמים לאורך העונה.

איסוף וארגון הנתונים תוך פיתוח הכלי הסטטיסטי מאפשר לנתח נתונים משטח נרחב, להציף קשרים מרחביים ולהעלות השערות לגבי המעבר בין פונדקאים בזמן קצר יחסית אך ישנו צורך בבקרת איכות של הנתונים הנאספים בשטח. תוצאות הניתוח בשיטת האקואינפורמטיקה הראו שהתקיים קשר בין שטח כרמי הגפן המקיף מטעי רימונים ובין הנגיעות ברימונים. הנגיעות במטעי רימון עלתה עם העליה בשטח הגפן המקיף אותם בחודשים יוני ואוגוסט 2014 ובחודשים יולי, אוגוסט וספטמבר 2015. לא נמצאו קשרים הפוכים.

מתוצאות הניתוח של הניסוי המובנה עלה שהנגיעות בכרם גבוהה לעומת הנגיעות בפירות הגידולים הסמוכים שנבחרו (רימון במושבות השומרון ונקטרינה בגליל). ממצאים אלו מחזקים את ממצאי ניתוח הנתונים בגישת האקואינפורמטיקה מהם נראה כי הגפו מהווה מקור והרימון מהווה מבלע. בחלקות הרימון נראתה עלייה בנגיעות החל מחודש יולי וגם זה מחזק את הממצאים שעלו מניתוח הנתונים בגישת האקואינפורמטיקה. הניסוי המובנה הראה את השפעת הגורם של מועד הבציר/קטיף- כאשר הכרם נבצר לפני הרימון עלתה הנגיעות בחלקת הרימון הסמוכה לכרם, כאשר הכרם נבצר אחרי קטיף הרימונים חלה עלייה מועטה בלבד ורק בחלק מחלקות הרימון. ממצאים אלו יכולים להסביר את העליה ברמת הנגיעות בחלקות הרימון בספטמבר שנראתה בנתונים שנותחו בגישת האקואינפורמטיקה מאחר שבמועד זה מרבית הכרמים נבצרו. ממצאים אלו גם מרמזים על התאמה של הרימון להטלה בסביבות יולי (יתכן שקשור בשלב הפנולוגי של הפרי), עם זאת אוכלוסיית העש בגפן, על פי הנוק לפירות, נותרה גבוהה יותר מאשר ברימון (ככל הנראה כתוצאה מהעדפה של עש האשכול את הגפן על פני הרימון). ממצאים אלו עדיין לא מאפשרים הפרדה בין

ההשערות השונות. בחלקת הגפן בה הופעלה שיטת בלבול הזכרים כנגד עש האשכול נמצאה נגיעות גבוהה יחסית, שאינה מאפיינת חלקות מבולבלות.

שילוב שיטות איסוף הנתונים והניתוח בשתי סקאלות מרחביות מאפשר להעלות השערות מצד אחד ומאידך לבחון את התנאים המגבילים שלהן. בשנה זו באמצעות שיטת האקואינפורמטיקה הועלתה ההשערה שקיים מעבר של העש מגפן לרימון ואילו ניתוח הדינמיקה בזמן ודגמי הפיזור הצביע על השפעות אפשריות של בלבול, פנולוגיה של הגידול ושל מועד הבציר/קטיף על המעבר. אלו הן רק תובנות ראשוניות והמשך המחקר יאפשר להגיע למסקנות ברורות יותר.

## 2. מבוא

עש האשכול *Lobesia botrana* הוא מזיק רב-פונדקאי התוקף למעלה מ-200 מיני צמחים. המזיק פעיל במהלך כל השנה אך אוכלוסייתו מתעצמת עם העלייה בטמפרטורה באביב וקטנה עם הסתיו. בישראל מתקיימים 3-5 דורות. הנקבה הבתולה משחררת פרומון המושך אליה זכרים. לאחר ההזדווגות הנקבה נעה באופן אקטיבי במרחב ומטילה ביצים על צמחים פונדקאים. תנועת הנקבה, מוכתבת בעיקר על פי פיזור אתרי ההטלה המועדפים. הנקבה המזווגת עוקבת אחר נדיפים של הפונדקאי המתאים להטלה ונמנעת מאלו המתאימים פחות או שאינם מתאימים כלל ומעדיפה שלבים פנולוגיים מסוימים של פונדקאי מועדף. כשירות הצאצאים (קצב ההתפתחות וגודל הבוגר), תלויה באיכות הפונדקאים כמזון ולכן יש חשיבות לבחירת אתר ההטלה המתאים ביותר בסביבה. ההעדפה לפונדקאי עשויה להיות בין מיני צמחים שונים, בין זנים שונים של אותו פונדקאי, או בין שלבים פנולוגיים שונים של אותו זן פונדקאי. כך למשל, נקבות העש מעדיפות זני גפן מסוימים, בשלבי התפתחות שונים על פני זנים אחרים לצורך הטלה.

קיימות שתי השערות, שלא נבחנו עדיין, לגבי הגורמים המשפיעים על תפוצת הנקבות במרחב:

השערה ראשונה- תנועה בין פונדקאים שונים (מעבר בין גידולים) - טווח הפונדקאים וזמינותם כאתרי הטלה הוא גורם מכריע בדגם הפיזור של העשים. נקבות עש האשכול עפות לכיוון נדיפים הנובעים מקומפלקס כימיקלים כלליים המצויים במגוון רחב של פונדקאים, אך קיימת העדפה ליחסים מסוימים בין הכימיקלים בקומפלקס. הנקבה יכולה לעבור בין פונדקאים שונים בהתאם לשלב הפנולוגי האופטימאלי לגידול הצאצאים. במקרה זה האוכלוסייה כולה תנוע בין הפונדקאים השונים בשלבים פנולוגיים מועדפים. על פי השערה זו הגורם המכריע בדגם הפיזור של העשים במרחב הוא טווח הפונדקאים וזמינותם כאתרי הטלה ולכן צפוי להתקיים מעבר של נקבות בין פונדקאים שונים במרחב החקלאי לאורך העונה.

השערה שנייה- העדפה לגידול המקור (התפתחות בתוך החלקה בלא מעבר בין חלקות)- המזיק מתקיים על פונדקאים שונים אך מעדיף את פונדקאי המקור בו החל כוחל. במקרה כזה הנקבות יבחרו כאתר הטלה באותו הפונדקאי ממנו ניזונו כוחל והאוכלוסייה תנוע בתוך חלקה בהתאם להתפתחות הפנולוגית של הפונדקאי בו גדלו. במצב זה אוכלוסיית המזיק יציבה בתוך החלקה, כמעט ללא מעבר של אוכלוסיות בין הפונדקאים השונים ולכן צפוי כי המעבר לחלקות סמוכות של פונדקאים שונים, יהיה מזערי.

בנוסף על שני גורמים אלו, מושפעת התפתחות אוכלוסית העש ממשק ההדברה וגורמים רבים אחרים (והאינטרקציה שבניהם), בכלל זה גורמים א-ביטיים (כמו טמפרטורה, רוחות, וכו') וגורמים ביוטיים (כמו רגישות הפונדקאי, מעורבות של אורגניזמים אחרים כמו אויבים טבעיים ועוד). על ההפצה במרחב משפיעים גם גורמים גיאוגרפיים שונים (כמו הטרוגניות הנופית, הפיזור המרחבי ומידת הקישוריות של אוכלוסיות הפונדקאי במרחב).

דוגמה להשפעת ממשק הינה השפעת בלבול זכרים- נקבות עש האשכול נמנעות מלהטיל ביצים בסמיכות לביצים אחרות. מחקר שבדק את התנהגות הנקבות ודגם ההטלה תחת השפעת הפרומון לבלבול מצא כי הנקבות נטו יותר לעוף לפני הטלת הביצים והטילו פחות ביצים מאשר נקבות שלא נחשפו לפרומון. כמו כן, נמצא כי ריכוז גדול יותר של ביצים נמצא בשולי האזור המבולבל מאשר במרכזו. אחד ההסברים הינו שנקבות שהזדווגו מחוץ לשטח המבולבל חודרות אל הכרם באקראי ומטילות ביצים בשולי הכרם בגפנים הראשונות שנקרו בדרכן (edge effect). אך קיימת גם השערה אחרת הגורסת שהנקבות החשופות לריכוז פרומון גבוה בתוך השטח המבולבל חשות בריכוז הפרומון הגבוה בסביבתן ומפרשות זאת כאוכלוסייה גבוהה מאוד של נקבות הקוראות לזכרים. במקום בו קיים ריכוז גבוה של נקבות צפויה תחרות חזקה על מקומות ההטלה. בשל כך, הנקבות עפות מייד לאחר ההזדווגות בניגוד לריכוז הפרומון, אל שולי החלקה. שם, במקום בו הצפי לתחרות על מקורות המזון לזחלים הוא הנמוך ביותר, הן מטילות. שתי ההשערות אינן סותרות זו את זו ושתיהן עשויות להתקיים בו זמנית.

אחד האתגרים הגדולים בשיפור הגנת הצומח דורש מעבר מניהול החלקה הבודדת לניהול אזורי. לכן, להבנת התנועה של נקבות עש האשכול בזמן ובמרחב יש חשיבות גדולה לצורך בניית מערכת תומכת החלטה המבוססת על הממד המרחבי. ממשק הדברה אזורי רלוונטי במיוחד באזורים בהם עונת הגידול של הפונדקאים הרגישים ארוכה ומאפשרת לפגעים לעבור מגידול אחד למשנהו. יישום העקרונות של ממשק הדברה אזורי מחייב מידע וידע על הדינאמיקה של הפגעים בסביבה החקלאית ובסביבה הטבעית הסמוכה לה. קיימות גישות שונות לקבלת המידע המדעי על הדינאמיקה של הפגעים:

בגישה ה"הוליסטית" המערכת הביולוגית נחקרת בכללותה תוך שימוש בנתונים רבים שנאספים ולא מעלים השערות לגבי זהות הגורמים המשפיעים. נעזרים בניתוחים שמאפשרים לזהות את הגורמים המשפיעים ואת החשיבות היחסית של כל אחד מהם. החיסרון העיקרי של שיטה זו הינו כי סט הנתונים המנותח כולל משתנים שלעיתים קשה לאפיינם ולא תמיד ניתן לדעת האם המשתנים שנמצאו כחשובים משפיעים ישירות על התפתחות הפגעים או שקיימים קשרים עקיפים או מקריים בינם לבין התפתחות הפגעים. מודיפקציה של גישה זו הינה הגישה של אקואינפורמטיקה- ניתוח נתוני תצפיות רבים שנאספים במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה, כולל נתונים גיאוגרפיים תוך שימוש במערכות מידע גיאוגרפיות (ממ"ג). הניתוח המרחבי מאפשר לאפיין את הגורמים המשפיעים על התפתחות הפגעים ולהגיע לתובנות לגבי הדינאמיקה של התפתחות הפגעים בזמן ובמרחב. גישה זו יכולה להיות יעילה לבחינת השערות בנוגע לתנועה של פגעים בתוך המרחב החקלאי וממנו למרחב סביבו. אך, גם בגישה זו לא ניתן לדעת האם המשתנים שנמצאו כחשובים משפיעים ישירות על התפתחות הפגעים או שקיימים קשרים עקיפים או מקריים בינם לבין התפתחות הפגעים.

בגישה ה"קלאסית" נבחנות השערות הקשורות לגורמים המשפיעים על המערכת הנחקרת באמצעות ניסויים מבוקרים. החיסרון העיקרי של שיטה זו הוא התמקדות בחקר ההשפעות של משתנה אחד או של מספר קטן של משתנים והתעלמות מהשפעות הגומלין של משתנים אחרים.

במחקר הנוכחי שילבנו את שתי הגישות- הקלאסית והאקואינפורמטיקה ובאמצעות מעקב אחר התפתחות אוכלוסיית עש האשכול תיבחנה התועלות של כל גישה והתובנות שניתן להשיג משילובן.

**מטרות המחקר:** לבחון אם אוכלוסיות של עש האשכול נעות בין פונדקאים שונים על פי התאמת הפונדקאים כמקור מזון להתפתחות הזחלים או שקיימת העדפה לפונדקאי המקור (ואז אין תנועה בין פונדקאים). נלמד דגם הפיזור של המזיק בזמן ובמרחב באתרים מרובי פונדקאים.

המחקר מבוסס על א) ניתוח נתונים בגישה האקואינפורמטיקה על בסיס נתונים ממערכת AgriTask למעלה מ- 3000 חלקות של מטעים שונים שנאספו ע"י פקחים בחלקות מסחריות בשנים 2011-2016 במושבות השומרון (להלן אקואינפורמטיקה). ב) ניתוח דגמי פיזור של נגיעות שהתקבלו מאיסוף ייעודי של נתוני נגיעות בצמדים של מטעים (להלן ניסוי ייעודי).

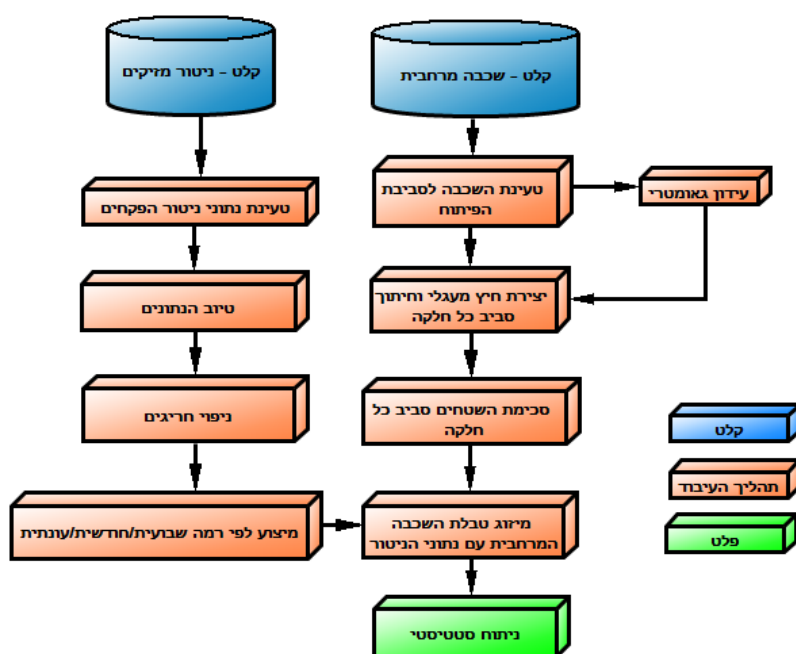
ניתוח הממצאים בגישה הקלאסית (ניסוי ייעודי) ובגישה של האקואינפורמטיקה (אוסף נתונים בלתי מסודרים אך רבים במרחב גדול) יאפשר חיזוק או דחיה של היפותזות המחקר ובחינת התרומה של כל אחת משתי הגישות בנפרד וביחד.

### 3. תיאור הניסויים שבוצעו

#### 3.1. איסוף וניתוח נתונים ממערכת AgriTask בגישה האקואינפורמטיקה

מערכת AgriTask הינה מערך לאיסוף מקוון של נתוני פיקוח באמצעות מכשירים סלולריים הכולל בסיס נתונים מרחבי-עתי מקוון. בסיס הנתונים מכיל רשימות של פקחים, שדות לכל פקח, גידולים וריכוז מזיקים. את רשימת השדות הרלוונטיים לכל עונה והגידולים הגדלים בהם מעדכנים בתחילת כל עונה. המכשיר הסלולארי הקשור אל בסיס הנתונים מאפשר לכל פקח לראות את רשימת השדות עליהם הוא אחראי ואת הגידולים הגדלים בהן. עם ההגעה לשדה הפקח בוחר אותו מכלל רשימת השדות שלו ואם יש צורך מבצע עדכון של הגידול הגדל בו. לאחר מכן הפקח בוחר את המזיק הנבדק מכלל רשימת המזיקים הרלוונטיים לגידול. לכל מזיק, לפי שיטת האיסוף, נפתחת רשימה של רמות הנגיעות: אין, נמוך, בינוני גבוה ממנה בוחר המשתמש או שהוא מקליד את אחוז הנגיעות.

הנתונים התקבלו מבסיסי הנתונים שברשות המכון להדברה ביולוגית ע"ש כהן ושברשות מו"פ צפון. הניתוח המרחבי-עתי וסטטיסטי התבצע ע"י כלי חצי-אוטומטי שנכתב בסביבת R (איור 1). הכלי מקבל קלט של מידע מרחבי של גידולים חקלאיים באזור נבחר ועליהם מתבצעת יצירה של חייצים מעגליים (Buffer) במרווחים המוגדרים על-ידי המשתמש. לכל חייץ מתבצע חיתוך עם שכבת המטעים המאפשר זיהוי של שטחי הגידולים המקיפים את מטעי הגידול הנבדק תחת אותו חייץ נבדק. מספר וגודל החייצים ניתן לשינוי בכלי. בשלב הבא, מתבצעת סכימה של שטחי המטעים המקיפים את המטעים של הגידול הנבדק לפי סוג גידול בכל חייץ. במקביל הכלי מקבל קלט נוסף של נתוני הניטור (ביצים, זחלים) במטעים של הגידול הנבדק. הנתונים עוברים תהליך של ניפוי חריגים ומיצוע טבלת נגיעות לפי רמה שבועית/חודשית/שנתית. לאחר תהליך מיצוע נגיעות וביצוע המניפולציות המרחביות מתבצע מיזוג של נתוני הניטור הטבלאיים עם הטבלה שמכילה את מטעי הגידול הנבדק, שטח מטעי הגידול המקיף אותם בכל חייץ נבדק. על הטבלה החדשה מתבצע ניתוח סטטיסטי שמאפשר בין היתר לחשב מתאמים בין שטח של גידול מקור ובין נגיעות בגידול המבלע במרחקים שונים ובתקופות שונות.



איור מספר 1. תרשים זרימה של תהליך העיבוד והניתוח בכלי (שרעי וחכון 2016)

הנתונים נאספו במושבות השומרון. מערך הנתונים שברשותנו הינו רחב ומקיף אלפי חלקות וכולל נתונים של מספר שנים. היקף נתונים זה נותן הזדמנות יוצאת דופן לאפיין את הגורמים המשפיעים על התפשטות המזיקים בזמן ובמרחב. הניתוח נעשה לכלל הפונדקאים של עש האשכול אבל התוצאות מתוארות רק ביחס לגפן-יין ורימון כגידולים מרכזיים מהסיבה שיש עבורם מאות נתוני נגיעות לעומת עשרות בגפן למאכל ובודדות בשאר הגידולים. נבדקו 2 עונות עוקבות: 2014 ו-2015. בעזרת הכלי הסטטיסטי שורטטו החייצים המעגלים בגדלים שונים סביב חלקת המקור (רימון או גפן) - למטרת המחקר נבחרו מרחקים של 200-800 מ' במרווחים של 100 מ'. חושבו שטחי מטעים פונדקאים מקיפים סביב גפן או רימון. בהקשר של השערת המעבר בין גידולים, הגידול המקיף נחשב 'מקור' והגידול המוקף נחשב 'מבלע'. לאחר מכן שטחי 'המקור' קובצו לטווחי שטח הולכים וגדלים (כל 100 דונם) וחושב ממוצע נגיעות של 'המבלע' לכל טווח. בנוסף חושבו מתאמי קשר בין שטח 'המקור' לנגיעות ב'מבלע' ושורטטו גרפים של דירוגי השטח מול נגיעות ממוצעת על מנת לזהות מגמת שינוי. התהליך בוצע לכל חייץ מעגלי בנפרד ולכל חודש בנפרד.

### 3.2 איסוף וניתוח ממצאי ניסוי מובנה בגישה הקלאסית

לניתוח דגמי פיזור בתוך המטע נערך ניסוי ב-4 צמדים של כרם ורימון במושבות השומרון. הבחירה של גפן ורימון נעשתה על בסיס בדיקה כללית של נתוני הנגיעות באזור בבסיס הנתונים של AgriTask. לשני הפונדקאים הללו נמצא מספר הרשומות הגדול ביותר. נבחרו אתרים בהם יש פונדקאים שהתפתחותם הפנולוגית חופפת לזו של הכרם, מקדימה את הכרם או מאוחרת לכרם (טבלה מספר 1). גודל כל צמד 20-40 דונם. בכל צמד נוטרה נוכחות זכרים במלכודות פרומון בחודשים מרץ-דצמבר בתדירות של פעמיים בחודש. מלכודות הזכרים הוצבו בכל פאת מטע ואחת במרכז (סה"כ 5 בכל מטע). בנוסף בוצע ניטור נגיעות של ביצים וזחלים בפירות, כמדד לתפוצת הנקבות והעדפת אתר הטלה. ניטור הנגיעות נעשה ב-100 עצים בפיזור אחיד בכל מטע (סה"כ 800 עצים, כאשר בכל עץ נוטרו 4 פירות/אשכולות) 3-4 פעמים לאורך העונה (בחודשים אפריל, יוני, יולי ובחלק מהחלקות בחודש אוקטובר). הניטור בדגם אחיד מאפשר ניתוח מרחבי של מוקדיות ו/או אפקט שוליים. כל הגפנים/עצים והמלכודות בכל אחד מהמטעים מופו באמצעות ArcGIS. נותח מספר הזכרים במלכודות ונגיעות בזחלים וביצים במהלך העונה בזמן ובמרחב בתוך ובין הגידולים.

ניטור באותו האופן נעשה ב-4 צמדים של כרם ומטעי נקטרינות/אפרסק בגליל העליון (2 חלקות במרום הגליל ושתיים בעמק קדש).

#### טבלה מספר 1: נתוני צמדי החלקות בהם נערך הניסוי המובנה

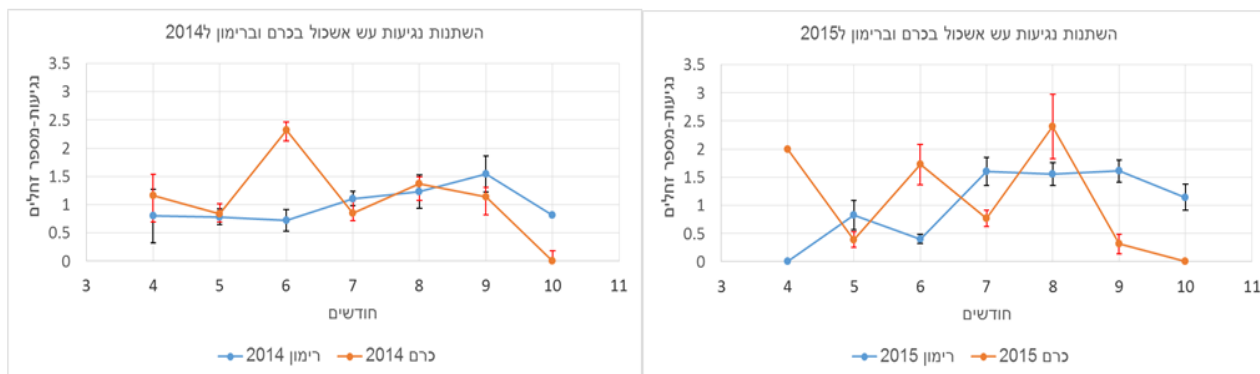
אזור	מס' חלקה	גידול	שטח (דונם)	שטחים סמוכים	בלבול כן/לא	מועד קטיף/בציר
מרום הגליל	1	כרם	~11	צפון ודרום- נקטרינה, מזרח- כרם, מערב- לא מעובד	לא	20/9/16
	1	נקטרינה	~11	צפון- תפוח, דרום כרם, מזרח נקטרינה, מערב לא מעובד	לא	תחילת ספטמבר
	2	כרם	~22	צפון ודרום- נקטרינה, מזרח- לא מעובד, מערב- כרם	לא	20/9/16
	2	נקטרינה	~20	צפון ומזרח-לא מעובד, דרום כרם, מערב נקטרינה	לא	תחילת ספטמבר
עמק קדש	1	נקטרינה	~22	צפון ומערב ודרום- כרם, מזרח-לא מעובד	לא	08/06/2016
	1	כרם	~12	צפון ומזרח ומערב-כרם, דרום- נקטרינה	לא	28/08/2016
	2	נקטרינה	10	צפון- תפוח, דרום כרם מאכל, מזרח- כרם מערב- נקטרינה צעירה	לא	נעקר 16/7/16 באוגוסט
	2	כרם	~22	צפון- תפוח, דרום- כרם מאכל, מזרח- לא מעובד, מערב- נקטרינה	לא	10/8/16
מושבות השומרון	1	כרם	12	צפון- רימון, דרום-כרם, מזרח ומערב- לא מעובד	כן	ספט-16
	1	רימון	10	צפון-דרך ונחל,דרום-כרם, מזרח ומערב-לא מעובד	לא	20/10/2016
	2	כרם	10	צפון ודרום- כרם, מזרח- משמש, מערב-רימון	לא	25/10/2016

30/08/2016	לא	צפון ומזרח-כרם, דרום-נקטרינה, מערב-לא מעובד	10	רימון	2	
סוף יולי 2016	לא	צפון- רימון, דרום ומזרח-אפרסמון, מערב-לא מעובד	10	כרם	3	
10/10/2016	לא	צפון- לא מעובד, דרום-כרם, מזרח ומערב-רימון	10	רימון	3	
ספט-16	לא	צפון ומערב- רימון, דרום-לא מעובד, מזרח-כרם	13.5	כרם	4	
10/10/16	לא	צפון- נקטרינה, דרום-כרם, מזרח ומערב-לא מעובד	13	רימון	4	

## 4. תוצאות

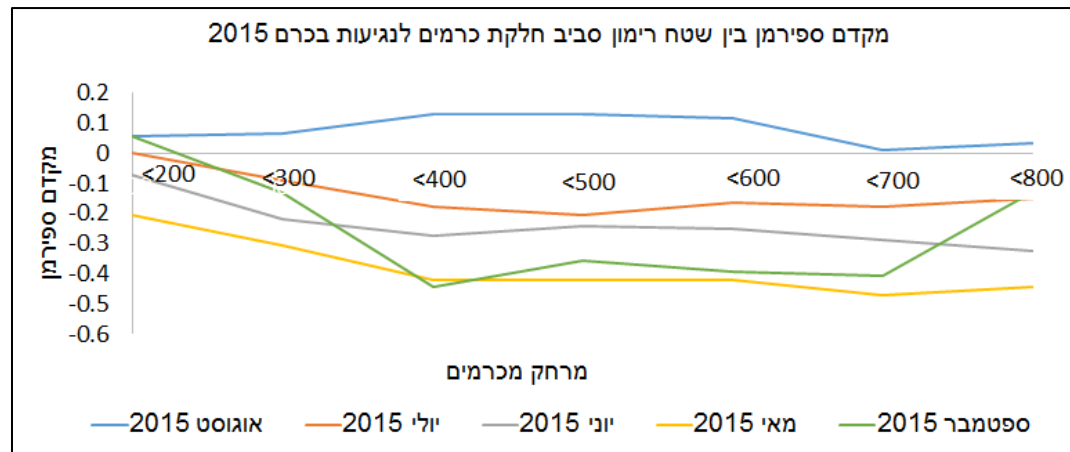
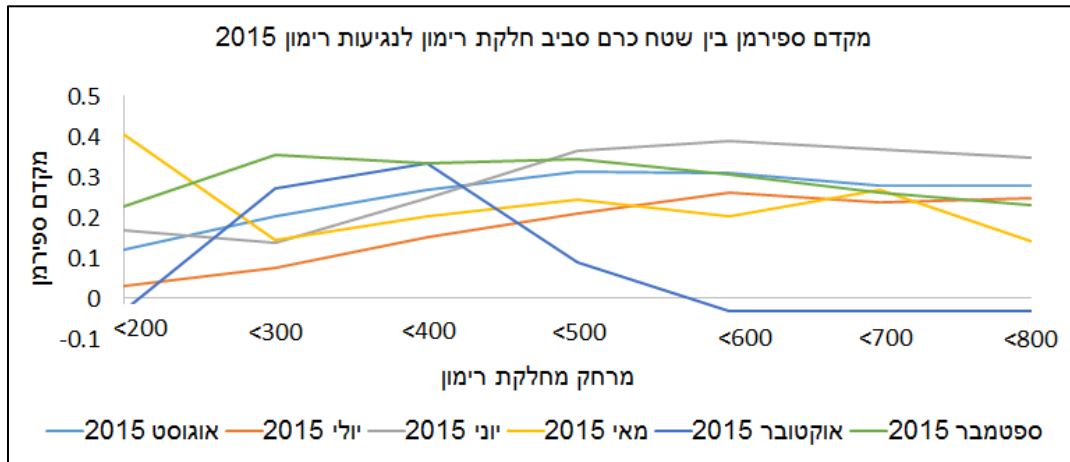
### 4.1 ניתוח נתונים ממערכת AgriTask בגישת האקואינפורמטיקה

מתוך כלל המטעים שיש באזור ישנם 570 כרמים של גפן ליינ ו-330 מטעי רימון. עם זאת, נתוני הניטור אינם סדירים מכלל החלקות. לצורך הניתוח הצלחנו לחץ נתוני ניטור חודשיים מכ-20 עד כ-60 חלקות תלוי בחודש בשנים 2014-15. דבר זה מאפיין את הגישה של האקואינפורמטיקה אשר מתבססת על נתונים שנאספים ממילא והאיסוף איננו מחוייב למחקר. איור 2 מתאר את השתנות נגיעות עש האשכול ברימון ובגפן ברמה חודשית בשנים 2014-15. למרות ההבדל בין שתי השנים, התקבלה מגמה דומה. בגפן ניתן לזהות סיוס של דור באפריל-מאי ושני דורות נוספים שהשיא שלהם ביוני ובאוגוסט. כיוון שרוב חלקות הגפן נבצרות בספטמבר אין נתוני ניטור מחודש זה והלאה. ברימון לעומת זאת, בתקופת הניטור ניתן לזהות דור יחיד וארוך וסימן לדור מוקדם יותר ששיאו כנראה סביב מאי. ניתן לראות שהנגיעות הגבוהה ביותר ברימון מתרחשת בחודשים יולי-ספטמבר.



**איור מספר 2.** השתנות הנגיעות ברימון ובגפן בעונת 2014 (שמאל) ו-2015 (ימין). הערכים מייצגים ממוצע נגיעות לכלל הכרמים לגפן ומטעי הרימון באזור מושבות השומרון כפי שהתקבל מבסיס הנתונים של AgriTask

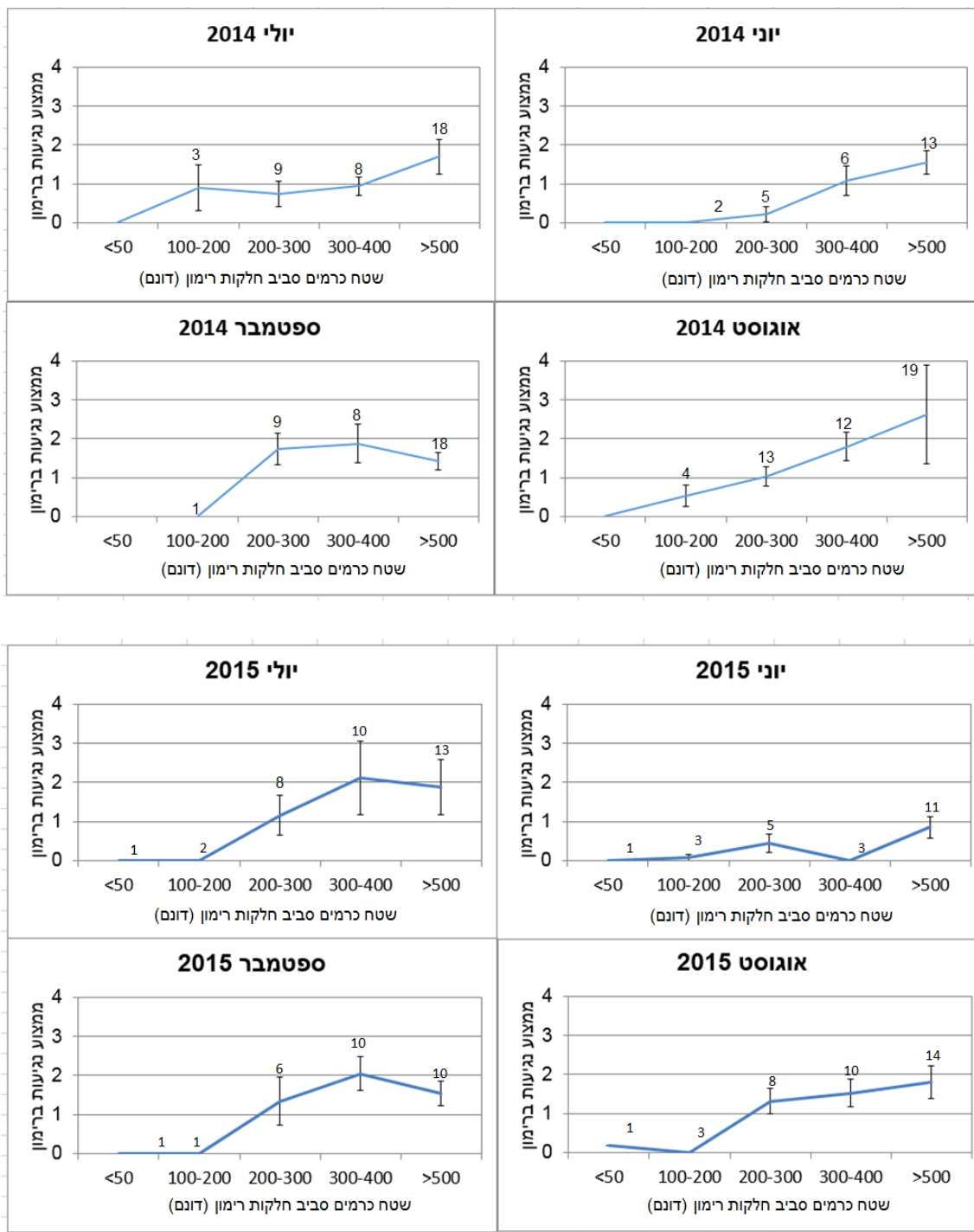
מקדמי ספירמן בין ממוצע נגיעות (זחלים) ברימון מול שטח הגפן המקיף מטעי רימון ולהיפך לאורך עונת הגידול 2015 במרחקים שונים מוצגת באיור מספר 3. ניתן לראות כי בעוד שמקדמי ספירמן בין ממוצע נגיעות ברימון מול שטח גפן המקיף הם בד"כ חיוביים, במצב ההפוך הם בד"כ שליליים ובאופן מוחלט יותר קטנים. דבר נוסף שניתן לראות הוא שמקדמי ספירמן במקרה הראשון עולים עם המרחק עד להתייצבות במרחק של כ-500-600 מטר.



**איור מספר 3.** מקדמי ספירמן בין ממוצע נגיעות (זחלים) ברימון מול שטח כרם המקיף מטעי רימון ולהיפך לאורך עונת הגידול 2015 במרחקים שונים

כאשר מתמקדים במרחק של 500 מ' בחודשים יוני – ספטמבר בכל עונה (איור מספר 4) ניתן לראות כי ישנו קשר חיובי בין נגיעות זחלים ברימון ובין שטח הכרמים המקיפים אותו. בעוד שבעונת 2014 הקשר נצפה כבר ביוני ומסתיים באוגוסט ב-2015 הקשר מתחיל להיראות ביולי ומסתיים בספטמבר. כאמור לא נמצאו קשרים כאלה בין גפן כמבלע ורימון כמקור.

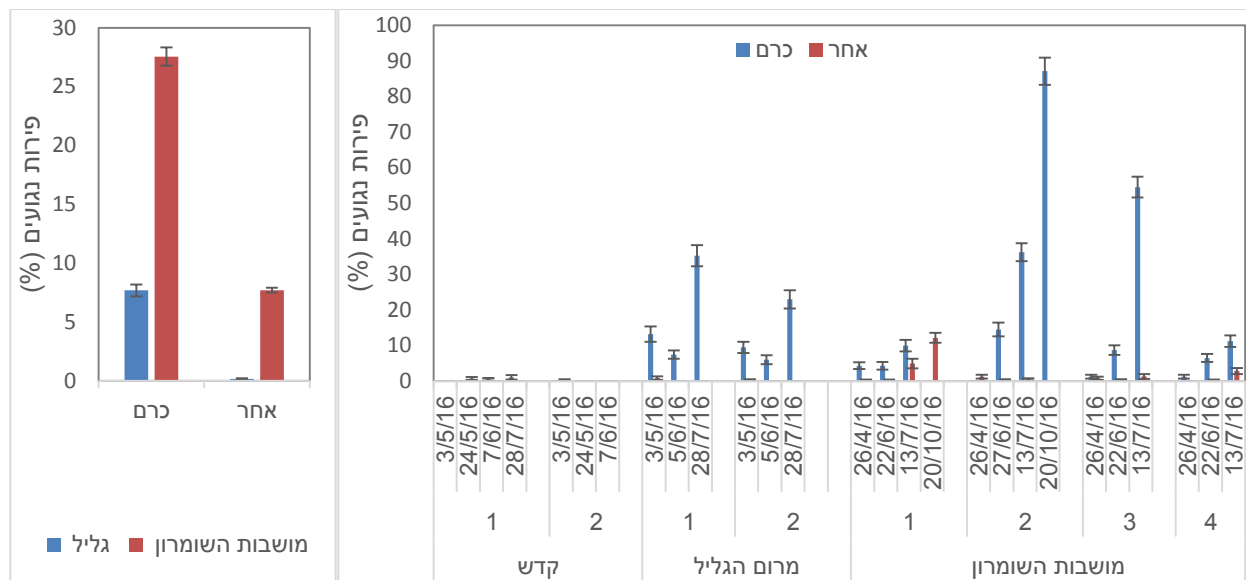




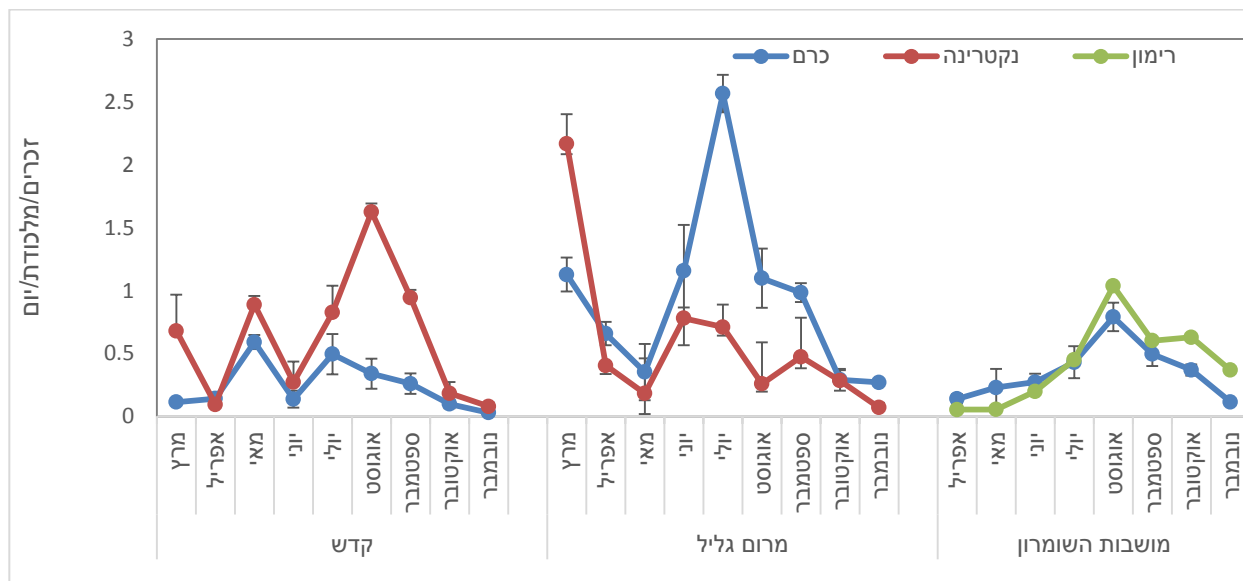
**איור מספר 4.** שטח גפן ליין המקיף חלקות רימון מול ממוצע אחוז שכיחות זחלים ברימון לשנת 2014 (למעלה) ולשנת 2015 (למטה) במרחק 500 מטר. מספר מעל ממוצע הנגיעות מייצג את מספר חלקות הרימון לכל קטגוריית שטח

### 4.2 איסוף וניתוח ממצאי ניסוי מובנה בגישה הקלאסית

בהסתכלות על נתוני הפירות הנגועים (איור מספר 5) ולכידות הזכרים במלכודות הפרומון (איור מספר 6) בתוך המטע ניתן לראות כי אין קשר בין מספר הזכרים שנלכדים במלכודות לאחוז הפירות הנגועים במטע. כמו כן, ניתן לראות כי העש מצוי יותר בכרמים (עמודות כחולות) מאשר בגידולים האחרים (רימון או נקטרינה) (איור מספר 5).



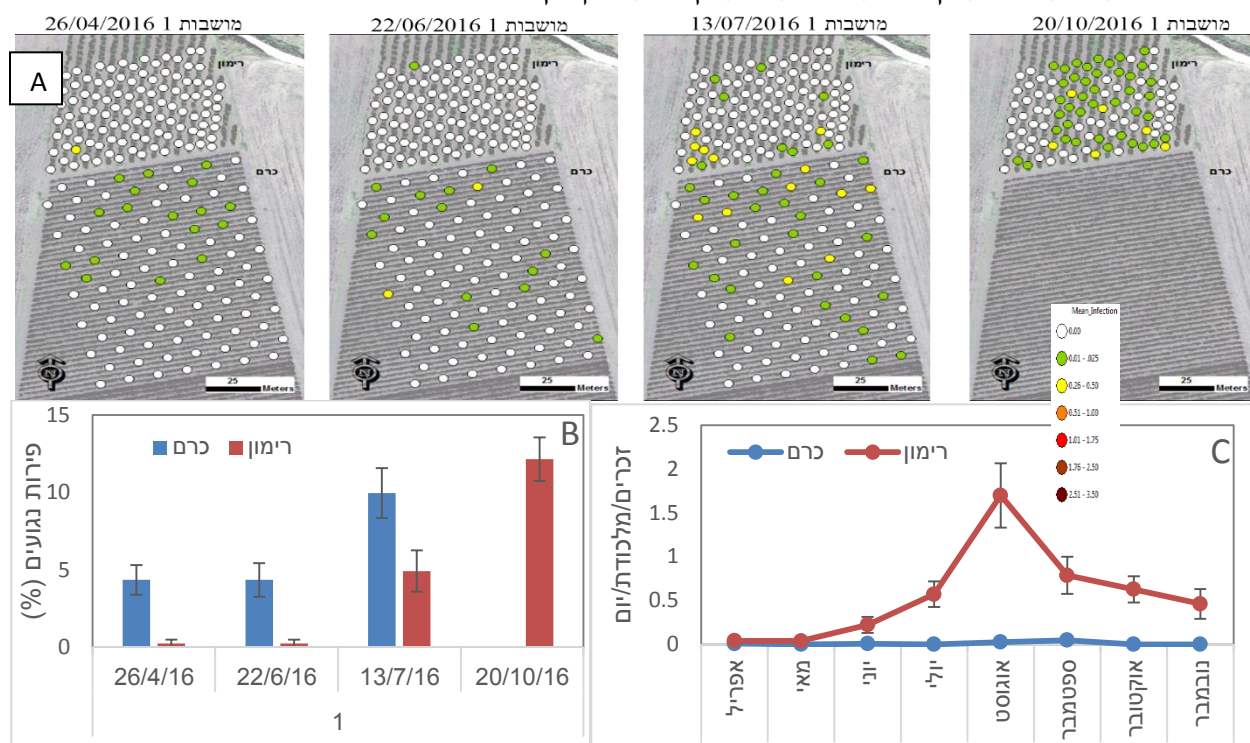
**איור מספר 5:** פירות נגועים (%) בזחלים וביצים במושבות השומרון ובגליל (A) בכלל העונה (B) בכל אחד מהצמדים בחודשים השונים



**איור מספר 6:** מספר הזכרים שנלכדו במלכודות הפרומון בגידולים השונים בכל אזור.

איורים מספר 7 ו-8 מיצגים דוגמאות לצמדים שנבחרו. הפיזור של הנגיעות בחלקה הינו אקראי ואינו מצביע על חדירה של עשים מהשוליים (איור A7 A8). באיור 7 ניתן לראות כי גם כאשר יושם בלבול כנגד עשים נראתה נגיעות בכרם למרות שלא נמצאו זכרים במלכודות הפרומון. העדר הלכידה במלכודות פרומון בכרם מצביע על פיזור מיטבי של נדיפיות הפרומון. עם זאת, רמת הנגיעות בפרי מצביעה על אוכלוסייה גבוהה של עשים, בה נפגשו

זכרים עם נקבות על אף נוכחות הפרומון. מבדיקת הפירות ברימון (ללא בלבול) עולה כי בסוף העונה, לאחר הבציר של הכרם, עולה אוכלוסיית העש ברימון. באיור 8, בחלקה בה הכרם נבצר לאחר הרימון ניתן לראות כי לכל אורך העונה יש יותר נגיעות בכרם לעומת הרימון (AB8). משני האיורים (7-8) ניתן לראות כי לכידות העשים במלכודות נמשכו גם בנובמבר למרות שחלקות הכרם נבצרו וחלקות הרימון נקטפו.

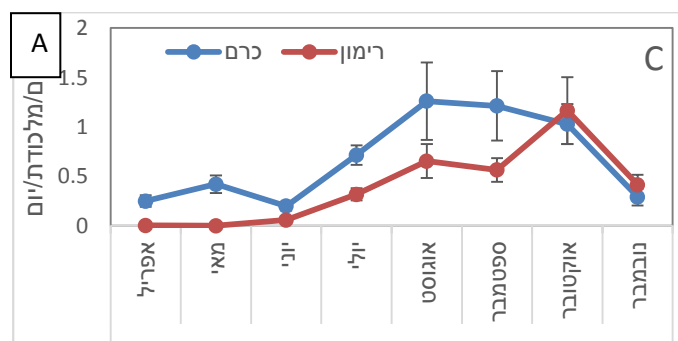
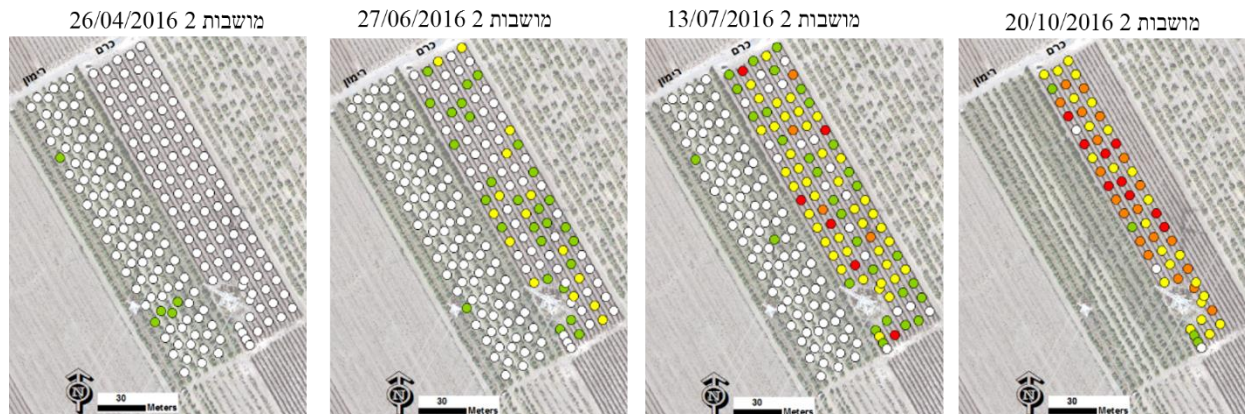


**איור מספר 7: צמד מספר 1 של חלקת כרם וחלקת רימון במושבות השומרון (כרם עם בלבול, כרם נבצר לפני קטיף רימון) (A) פיזור הנגיעות בחלקה בארבע דגימות לאורך העונה (B) רמת הנגיעות בחלקה בארבע דגימות לאורך העונה (C) מספר הזכרים במלכודות בכל חודש במהלך העונה.**

## 5. דיון

מטרת המחקר הינה לבחון אם אוכלוסיות עש האשכול נעות בין פונדקאים שונים על פי התאמת הפונדקאים כמקור מזון להתפתחות הזחלים או שקיימת העדפה לפונדקאי המקור באמצעות שילוב של שתי שיטות: מחד ניתוח מרחבי סטטיסטי של נתוני ניטור הנאספים בשגרה מעשרות חלקות במושבות השומרון (אקואינפורמטיקה) ומאידך באמצעות ניתוח דגמי פיזור של נגיעות בתוך החלקה במספר צמדים של חלקות במושבות השומרון ובגליל. לצורך יישום השיטה הראשונה עמד לרשותנו בסיס נתונים רחב ופותח כלי חצי אוטומטי שאפשרו לקבל תמונה נרחבת על הדינמיקה של העש בגפן וברימון ביחס לפונדקאים הללו ואחרים באזור מושבות השומרון. עם זאת, למרות הפוטנציאל של עבודה עם מאות חלקות יכולנו לחלץ נתונים מעשרות בודדות של חלקות בלבד מה שמגביל את חוזק התכונות המתקבלות.

הדינאמיקה העונתית של גפן ורימון בשתי עונות כפי שהצטיירה מנתוני הניטור הראתה כי יש הבדל בין שני הגידולים. בגפן בתקופת הניטור נצפתה אינדיקציה לשני דורות קצרים ששיאם ביוני ובאוגוסט ואילו ברימון נצפתה אינדיקציה לדור מתמשך המתחיל ביולי ונמשך עד אוקטובר. כמו כן, סך הנגיעות בגפן וכן תקופות השיא התאפיינו בנגיעות גבוהה יותר מאשר ברימון. שתי התוצאות הללו עשויות להצביע על כך שהגפן מהווה פונדקאי טוב יותר להתפתחות של העש ביחס לרימון.



**איור מספר 8:** צמד מספר 2 של חלקת כרם וחלקת רימון במושבות השומרון (ללא בלבול, כרם נבצר לאחר קטיף רימון) (A) פיזור הנגיעות בחלקה בארבע דגימות לאורך העונה (B) רמת הנגיעות בחלקה בארבע דגימות לאורך העונה (C) מספר הזכרים במלכודות בכל חודש במהלך העונה.

תוצאות הניתוח המרחבי, למרות שנעשו על כלל הפונדקאים של העש הראו קשר רק בין נגיעות ברימון ובין שטח הגפן המקיף אותו, קרי, ככל ששטח הגפן סביב הרימון גדול יותר כך גדל ממוצע הנגיעות ברימון. תוצאות אלו חזרו על עצמן בשתי עונות עם שינוי בזמן: בעוד שבועות 2014 הקשר נצפה מיוני עד אוגוסט ב-2015 נצפה קשר מיולי עד ספטמבר. קשר כזה עשוי לחזק את ההשערה שהעש עובר מהגפן לרימון בתקופה זו. עם זאת, ניתן לראות כי ישנה שונות גדולה בנגיעות ברימון בין המטעים (למשל בספטמבר 2015 במטעים שסיבם יש למעלה מ-500 דונם של גפן, איור 4) מה שמצביע על גורמים נוספים המשפיעים על המעבר.

מתוצאות הניסוי הייעודי עולה שהנגיעות באשכולות כתוצאה מעש האשכול גבוהה לעומת הנגיעות בפירות הגידולים הסמוכים שנבחרו (רימון במושבות השומרון ונקטרינה בגליל). בחלקות הנקטרינה נראה כי יש לכידות של עש האשכול במלכודות הפרומון אך כמעט ואין נגיעות של הפרי. בחלקות הרימון נראתה עלייה בנגיעות החל מחודש יולי. כאשר הכרם נבצר לפני הרימון עלתה הנגיעות בחלקת הרימון הסמוכה לכרם. כאשר הכרם נבצר אחרי קטיף הרימונים חלה עלייה מועטה בלבד ורק בחלק מחלקות הרימון. ממצאים אלו מרמזים, מחד, על התאמה של הרימון להטלה בסביבות יולי (יתכן שקשור בשלב הפנולוגי של הפרי), עם זאת אוכלוסיית העש בגפן, על פי הנזק לפירות, נותרה גבוהה יותר מאשר ברימון (ככל הנראה כתוצאה מהעדפה של עש האשכול את הגפן על פני הרימון). ממצאים אלו עדיין לא מאפשרים הפרדה בין ההשערות השונות. נמצא שעש האשכול מעדיף את אשכולות הענבים על פני הרימון לאורך כל העונה אך לא ברור אם עשים אלו גדלו בגפן (ואם כן, מאששים את ההשערה שהנקבה מטילה ביצים בפונדקאי בו גדלה) או עשים שגדלו ברימון חדרו עם תחילת העונה לגפן (ובכך מאששים את ההשערה השנייה הטוענת להעדפה של מעבר בין שלבים פנולוגיים שונים בפונדקאים שונים). בחלקת הגפן בה הופעלה שיטת בלבול הזכרים כנגד עש האשכול נמצאה נגיעות

גבוהה יחסית, שאינה מאפיינת חלקות מבובלות. דבר זה מרמז על אוכלוסייה גבוהה בכרם ויעילות נמוכה של שיטת ההדברה במקרה זה. הסיבות ליעילות הנמוכה אינן ברורות בשלב זה, אולם, ייתכן כי חל מעבר של עשים שעברו את החורף ברימון (לאחר מעבר של עשים מהכרם הנבצר אל הרימון לפני קטיפתו בשנה שעברה) ועברו לחלקת הכרם כאשר השלב הפנולוגי של הגפן הועדף על פני השלב הפנולוגי של הרימון, עם תחילת העונה. פרוש זה של הנתונים מצדד בהשערה שאוכלוסיית עש האשכול נעה בין פונדקאים על פי השלב הפנולוגי המועדף על הנקבה בכל זמן.

ממצאי הניסוי הייעודי מחזקים את הממצאים שעלו בגישת האקואינפורמטיקה תוך חידוד ההבנה של הגורמים המשפיעים על הדינמיקה של אוכלוסיית העש בין ובתוך הגידולים. הגורמים שנראים כמשפיעים מאינטגרציה של מצאי שתי הגישות הינם אם כך, שטח הכרמים הכולל סביב מטעי הרימון, השלב הפנולוגי של הגידול, ומועד הקטיף/הבציר. כדי להתקדם לקראת מענה להשערות יש לנסות ולבודד גורמים אלו לפיכך מועדי הדגימה של הפירות לנגיעות העש בניסוי המובנה בשנת המחקר הבאה, יחלו מהדור הראשון של עש האשכול (לשם זיהוי המועד יתלו מלכודות כבר בפברואר 2017) וימשכו כל חודש עד למועד הקטיף/בציר. נתמקד רק בצמדי כרם ורימון בהם נמצאה דינמיקה דומה של אוכלוסיית העש בשתי הגישות. נבחרו 3 חלקות בהן מועד הקטיף של הרימון מקדים את מועד הבציר ושלוש חלקות בהן מועד הבציר מקדים את מועד הקטיף של הרימון (ימשך הדיגום ב- 4 צמדים שנבדקו ב 2016 ויתווספו 2 צמדים). כמו כן ימשך איסוף הנתונים וניתוחו בגישה של האקואינפורמטיקה.

## 6. הבעת תודה

אנו מודים לטל שרעבי ומאור חכון על התרומה בכתיבת הקוד בסביבת R. תודה מיוחדת לאבי גולדשטיין ולשאר המגדלים והפקחים והפקחיות באזור על שאפשרו לנו לעבוד עם הנתונים שלהם.

## פרק 4. השפעות שימושי הקרקע והתנאים המקומיים בחלקה על תפוצת פגעים בגפן

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן פיזור מרחבי

ע"י

דודו חקוקי, הלנה קרסנוב וליאור בלנק

המחלקה לפתולוגיה של צמחים ומדע העשבים, מרכז וולקני, ראשון לציון

### 1. תקציר

בהגנה על שדות חקלאיים מתמודדים החקלאים עם פגעים שונים (חיידקים, וירוסים, מזיקים וכו') הגורמים לנוזל כלכלי רב. אזורים חקלאיים מאופיינים בנוף הטרוגני מגוון שמורכב ממרכיבים סביבתיים שונים כגון- חורש, יער, עירוני, כפרי, שטחים פתוחים ועוד. לנוף ולסביבה יש השפעה על הדינמיקה של אוכלוסיות ותהליכים אקולוגיים שונים במרחב ובזמן. הבנת ההשפעות הנוף והרכיבים השונים במרחב ובזמן (Spatiotemporal dynamics) יכולה לאפשר ניהול טוב יותר של מערכות חקלאיות. יכולת ניהול ממשק נכון כנגד פגעים שונים בשטחים חקלאיים מקבלת בשנים האחרונות יותר תשומת לב, בעיקר עקב הצורך בהפחתת שימוש בחומרי הדברה. שימוש בניטוח מרחבי גיאוסטטיסטי ומערכות מידע גיאוגרפי (GIS) מיושם כיום בתחומים שונים, לרבות בתחומי האקולוגיה של הנוף ובתכנון סביבתי. לכלים אלו ערך רב בהבנת הקשר בין הסביבה לבין המורכבת והטרוגנית במרחב. במחקר הנוכחי אנו בודקים את ההשפעה של הנוף והסביבה על שני פגעים שונים, עש האשכול (*Lobesia botrana*) וקימחון הגפן (*Uncinula necator*), פגעים דומיננטיים בכרמי גפנים (*Vitis vinifera*) בארץ ובעולם.

### 2. מבוא

גורמים רבים וקשרי הגומלין שבניהם משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים בזמן ובמרחב. בכלל זה גורמים א-ביוטיים (כמו טמפרטורה, משקעים, משך רטיבות, רוחות, וכו') וגורמים ביוטיים (כמו רגישות הפונדקאי, מעורבות של אורגניזמים אחרים כמו וקטורים המעבירים וירוסים וכו'). דינמיקה של פגעים במרחב מושפעת גם מגורמים גיאוגרפיים שונים (כמו סוג הקרקע, התבליט, תכסית, שיפוע פני השטח וכו'), ההטרוגניות הנופית, הפיזור המרחבי (Beckler, Wade French, and Chandler 2005) ומידת הקישוריות (Connectivity) של אוכלוסיות הפונדקאי במרחב (Noda and Kiritani 1990; Thrall and Burdon 2002; Ojiambo and Kang 2013).

השפעה רבה נודעת להיבט המרחבי, מבנה הנוף והרכבו על התפוצה והמאפיינים האפידמיולוגיים של מזיקים וגורמים פתולוגיים במערכות חקלאיות (Plantegenest, Le May, and Fabre 2007). נופים חקלאיים מאופיינים בנוף הטרוגני ופסיפס מרחבי שכולל מגוון שטחים גידול חקלאיים, ובמגוון שימושי וכיסויי קרקע שונים (Bennett, Radford, and Haslem 2006), אזורים טבעיים פתוחים, יערות, אזורי מרעה, חורש, מקווי מים שונים, וכן שימושי קרקע אנתרופוגנים כגון כבישים, אזורים עירוניים, שבילים, פארקים, ועוד (Bennett, )

(Radford, and Haslem 2006). בנוסף, הנוף החקלאי עובר שינויים בזמן (שינוי עונות, שינויי מחזורי חיים של הצמחים (פנולוגיה וכדומה) ושינויים במרחב (כגון שינויים בכיסוי הקרקע, כגון תחלופה של גידולים שונים (crop-rotation) שינויים כתוצאה מפעילות אנתרופוגניות, ועוד). שינויים אלו עשויים להשפיע על דינמיקה של הפגעים במרחב ובזמן (Bennett, Radford, and Haslem 2006).

הבחנה במרכיבים המרחביים בנוף (סוגי כיסוי קרקע ותכנית שונים, סוגי צמחייה, טופוגרפיה, ועוד) מאפשרת הערכה לאיכות בית הגידול והגורמים המשפיעים על מגוון המינים והתנועה שלהם במרחב (Turner 2005; ) (Fahrig et al. 2011). להרכב הצמחייה יש חשיבות רבה במספר היבטים. לדוגמה, לצפיפות הפונדקאים ואיכותם יש השפעה על האפידמיולוגיה של הפתוגן והיכולת להשפיע על התפוצה שלו (Bennett, Radford, and Haslem 2006). בנוסף, לקישוריות של בתי גידול שונים בפסיפס המרחבי בנוף יש השפעה על יכולת התנועה וההפצה של מינים שונים. לשימושי קרקע יכולים אף להיות מחסומים פיזיים להפצה. לדוגמה, יער או שורות עצים יכולים לשמש כמחסום פיזי של תפוצת חרקים מזיקים, להפריע לתקשורת מינית על ידי פרומונים, או למנוע מעבר של נבגים המופצים על ידי הרוח (Ratnadass et al. 2012). צמחים בשטחי בר יכולים גם לשמש כפונדקאים חלופיים לפתוגנים שבדרך כלל נמצאים בגידולים חקלאיים בעונות ובשנים בהם התנאים לא מאפשרים את קיום הפתוגנים בחלקות החקלאיות (Plantegenest, Le May, and Fabre 2007). נוף מגוון יכול גם לשמש מיני מזיקים או וקטורים שונים בשלבים שונים של מחזור החיים שלהם (lifecycle) ולאפשר להם בכך להשלים את מחזור החיים (Plantegenest, Le May, and Fabre 2007).

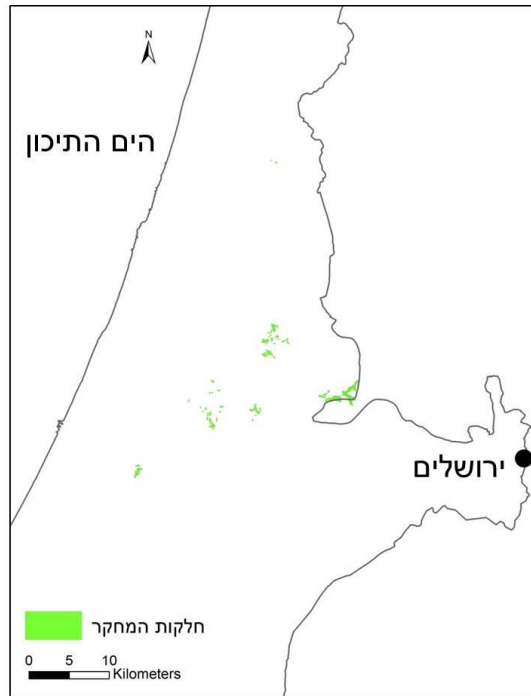
מערכות GIS וניתוח גיאוסטטיסטי-מרחבי יכולים לשמש כחקר התרחשות של תופעות סביבתיות ומרחביות בשטחים חקלאיים, טבעיים ואנתרופוגנים במטרה לקשור תופעות שונות במרחב (Reisen 2010). למרות ההתקדמות במחקר בנושא שהתרחשה בשנים האחרונות, הידע לגבי ההשפעות של גורמים שונים על ההטרונות המרחבית-עתית של פגעים עדיין מוגבלת (Ostfeld, Glass, and Keesing 2005; Meentemeyer, Haas, and Václavík 2012).

במחקר הנוכחי אנו בודקים את השפעת הנוף והתכנית על שני פגעים בחלקות כרמים באזורים שונים בארץ. המחקר ישפר את ההבנה שלנו על הקשר בין הסביבה של הכרמים ושל השינויים במרחב ובזמן, והשפעתו על האפידמיולוגיה של שני הפגעים הנחקרים, עש האשכול (*Lobesia botrana*) וקימחון הגפן (*Uncinula necator*). ככל הידוע לנו מהספרות, לא נערך בארץ מחקר שעסק באפידמיולוגיה המרחבית של פגעים אלו בגפן. קימחון הגפן (*Uncinula necator*) היא פטריה טפילית שמהווה את אחד מהמזיקים העיקריים בכרם בארץ ובעולם. הפטריה תוקפת את הגפן בכל שלב בחייו אבל קיימים הבדלים ברמת הפטוגניות בגפנים על פי שלבי התפתחות השונים של הגפן. המחלה מתפתחת על כל אברי הגפן הירוקים, אך הנזק המשמעותי נגרם לאשכולות והוא יכול לגרום לאובדן מוחלט של היבול. הפטרייה מופצת על ידי נבגים המופצים על ידי הרוח (Gadoury et al. 2012, עובדיה 2005). עש האשכול (*Lobesia botrana*) הוא חרק ממשפחת ה-Tortricidae ידוע כאחד החרקים המזיקים ביותר לגידולי ענבים באזור היסודי ובעולם, הן כנזק ישיר והן כנזק משני כתוצאה מפגיעה באשכול וחדירה של וירוסים ופטירות לפרי (Thiéry and Moreau 2005; Ioriatti et al. 2011). ידועים למעלה מ-200 פונדקאים צמחיים שהעש יכול לפגוע בהם. המזיק פעיל במהלך כל השנה אך אוכלוסייתו מתעצמת עם העלייה בטמפרטורה באפריל וקטנה עם הסתיו ובסך הכול מתקיימים בעונה 3-5 דורות. הנקבה משחררת פרומון המושך אליה זכרים ולפיכך, פיזור הזכרים במרחב עוקב אחר פיזור הנקבות. לאחר ההזדווגות הנקבה נעה באופן אקטיבי במרחב ומטילה ביצים על צמחים פונדקאים. הדבר העש נעשית על ידי ריסוס בחומרים רעילים, הכוללים זרחנים אורגניים.

### 3. תיאור הניסויים שבוצעו

#### 3.1. אזור ותקופת זמן המחקר

אזור המחקר כולל כ-220 חלקות כרמים באזור שפלת יהודה (איור מספר 1). חלקות הכרמים שוכנים כולם באזור אקלים היסודי, אזור שמאופיין בנוף הטרונטי שכולל כיסויי קרקע מגוונים. בשנת מחקר זו השתמשנו בנתוני ניטור שנאספו בצורה שיטתית ואחידה על ידי "יקבי הכרמל" בשנת 2014.



איור מספר 1. מיקום חלקות המחקר.

### 3.2 כימות המשתנים

#### 3.2.1 מיפוי חלקות הכרם

נעשתה דיגיטציה של כל הכרמים של יקבי כרמל וכרמים נוספים אחרים. סך הכל מופו 220 חלקות כרם. הדיגיטציה בוצעה בתוכנת ESRI) ARCGIS 10.5 (על צילומי אוויר (Orthophotos) ברזולוציה גבוהה ( 0.25 m<sup>2</sup> שצולמו ב- 2014).

#### 3.2.2 משתנים מקומיים

נתונים לגבי זן הגפן, המגדל וגיל החלקה התקבל מבסיס הנתונים של יקבי כרמל. שכבת סוג הקרקע (מקור- משרד החקלאות) באזור המחקר יוזנו כחלק מן השכבות המנותחות במרחב.

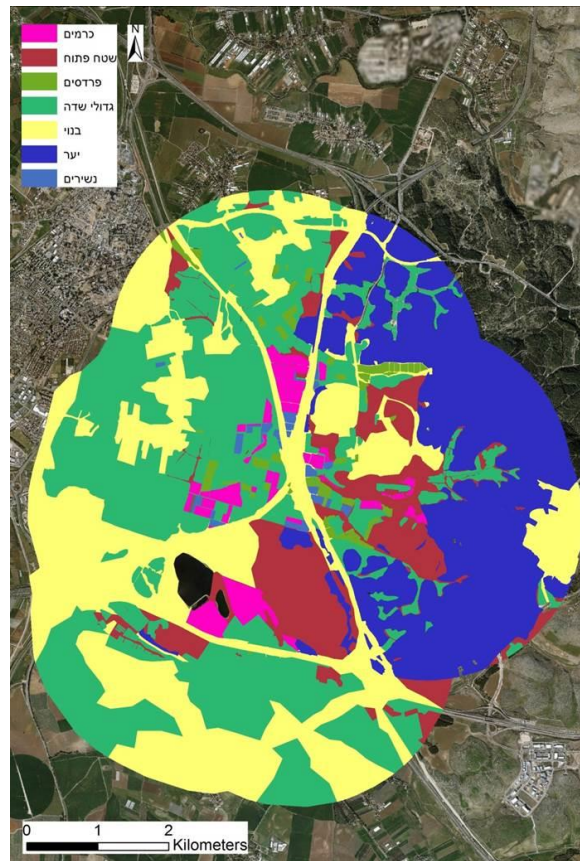
מסד הנתונים כולל את המידע לגבי כל חלקה. מסד הנתונים כולל מידע (לגבי כל חלקה) הקשור להתפתחות הפגעים וחומרתם, אוכלוסיית המזיקים וכו'. אלו הם המשתנים התלויים בניתוחים שביצענו. בנוסף, כולל מסד הנתונים נתוני לגבי מאפייני החלקה.

#### 3.2.3 משתני נוף

מיפוי כיסוי קרקע מסביב לכל חלקה התבצע באמצעות תצלומי אוויר (Orthophotos) (איור מספר 2). כדי לבחון אם שימושי הקרקע השונים משפיעים על חומרת המחלה/מזיק ואת הטווח שבו מתקיימת השפעה הרבה ביותר, יבחן הקשר בין אוכלוסיית הפגעים בחלקות לשימושי הקרקע במרחקים הולכים וגדלים באותו

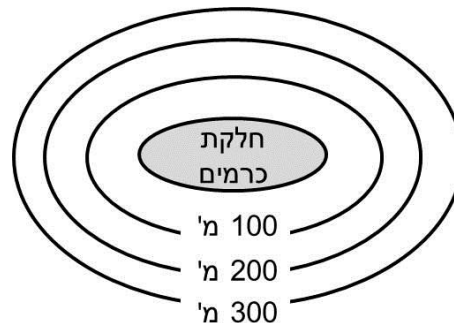


האזור (Avelino et al. 2012). החלקות ימצאו במרכז של מספר טבעות (Buffers) במרחקים הולכים וגדלים. לאחר מכן יבוצע ניתוח סטטיסטי לבחינת המובהקות של ההשפעה של השטח על אוכלוסיית הפגע בחלקות המרכזיות (Focal plots).



**איור מספר 2.** דוגמא למיפוי כיסויי הקרקע בחלק מאזור המחקר.

הקשר לכיסויי הקרקע נבחן בטווחים שונים מקצה החלקה (איור מספר 3): 100, 200, 300, 400, 500, 750, 1000, 1250 ו-1500 מטרים. כיסויי הקרקע שמופנו נחלקים ל-7 קטגוריות: חלקות כרמים, שטחים פתוחים, שטחי גדיש, שטחי מטעים נשירים, חלקות פרדסים, אזורים בנויים ויערות.



**איור מספר 3.** אילוסטרציה של טבעות החיץ (Buffers) סביב חלקת כרמים

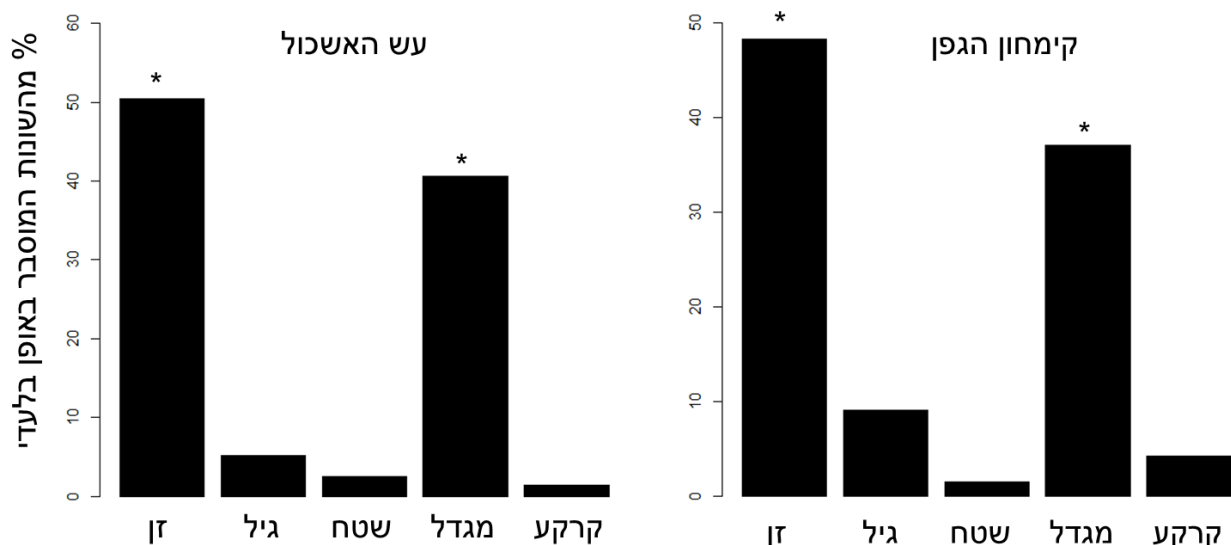
### 3.2.4 ניתוח הנתונים

מידת החשיבות של כל משתנה נבחן באמצעות מציאת האחוז מתוך השונות המוסברת של כל משתנה באופן בלעדי. מובהקות סטטיסטית נבחנה באמצעות מבחן רנדומיזציה (500 חזרות). האנליזה והמבחן הסטטיסטי בוצעו באמצעות חבילה Hier.Pert (MacNally and Walsh 2004) ויושמה ב-R.

בחנו את הקורלציה (פירסון) בין הנגיעות של שני המזיקים ביחס לשטח של אחד משמושי הקרקע בכל אחד מסקלות החיץ סביב החלקות בכדי לקבוע האם לקונטקסט הנופי יש השפעה על הפגעים ואם כן, באיזו סקלה מרחבית.

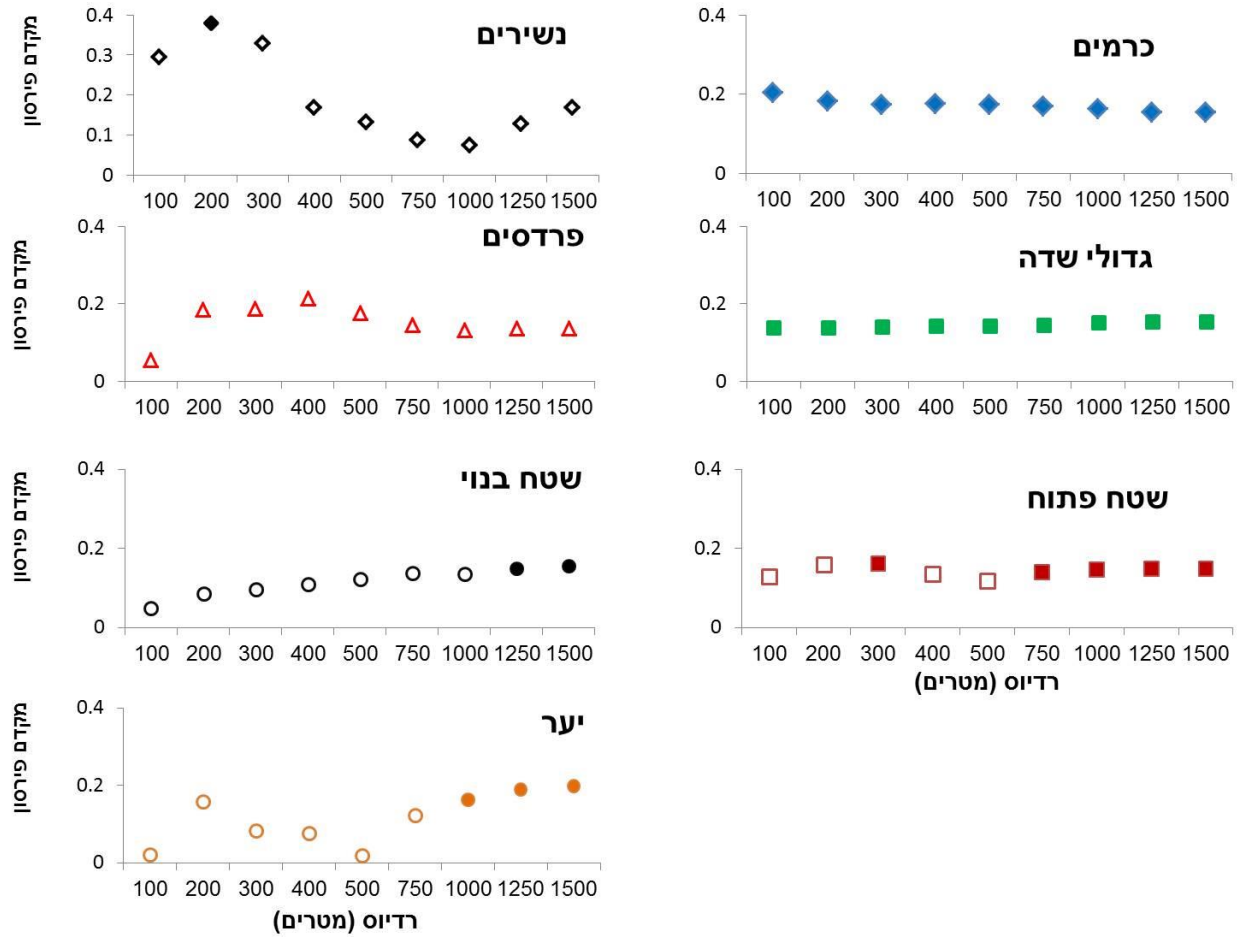
## 3. תוצאות

זן הגפן ובמגדל היו המשתנים היחידים שנמצאו מובהקים מתוך חמשת המשתנים המקומיים שנבחנו עבור שני המזיקים (איור מספר 4).

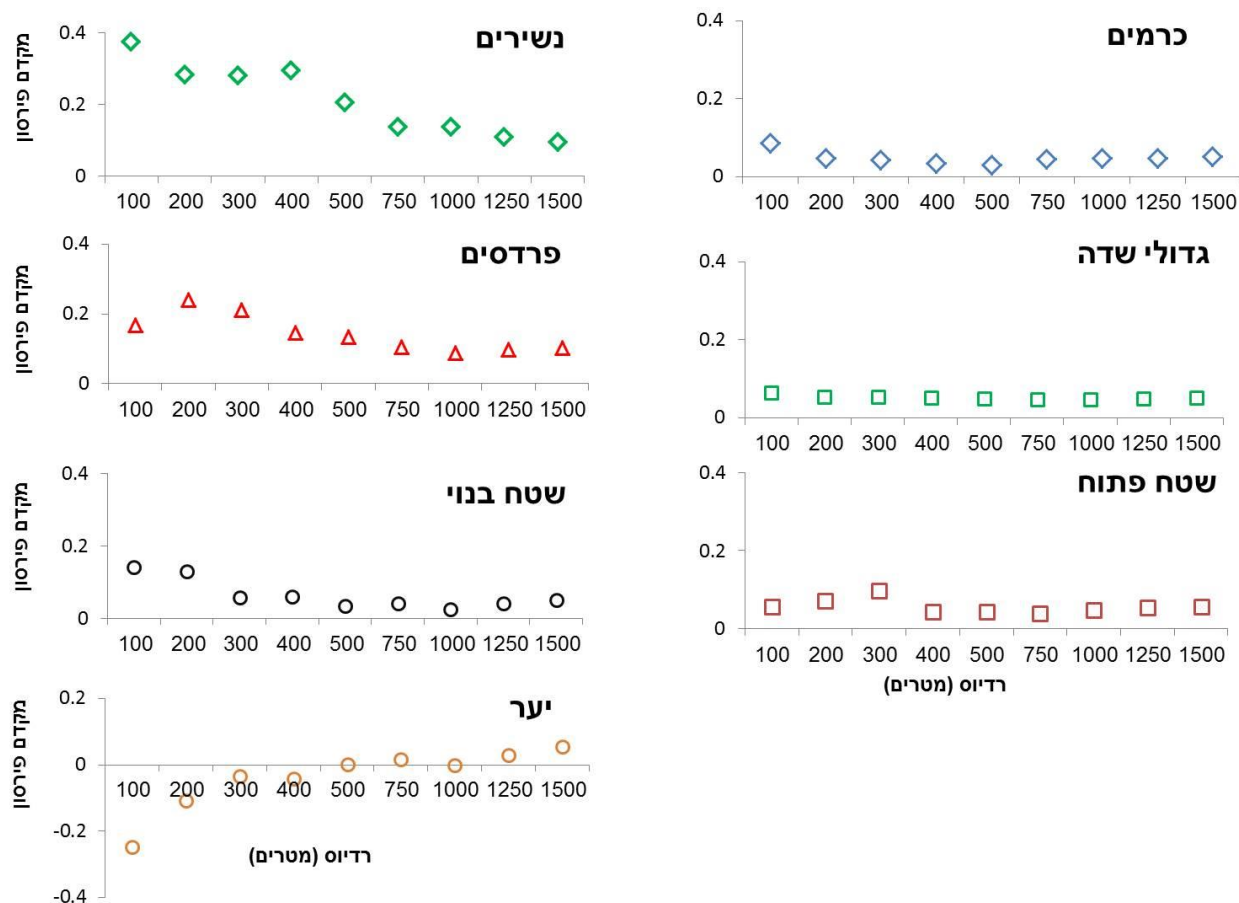


**איור מספר 4.** בחינת התרומה הבלעדית של כל משתנה מקומי לנגיעות בעש האשכול ובקימחון הגפן. כוכבית מציינת השפעה מובהקת מובהקת  $P \text{ value} < 0.05$ .

לא מצאנו קשר סטטיסטי מובהק בין כיסויי הקרקע השונים ונגיעות בקימחון הגפן באף אחת מהסקלות המרחביות. לעומת זאת, עבור נגיעות בעש האשכול מצאנו קשר למספר שימושי קרקע: נשירים (קורלציה מקסימלית בסקלה של 200 מ'  $r=0.38$ ;  $P \text{ value} < 0.05$ ), כרמים וגדולי שדה (מובהקת וקבועה בכל הסקלות), שטח בנוי ויער (מקסימלית בסקלה של 1500 מ'  $r=0.155$ ;  $P \text{ value} < 0.05$  ו-  $r=0.2$ ;  $P \text{ value} < 0.01$ , בהתאמה) ועבור שטח פתוח (מובהקת וקבועה בסקלות הגדולות) (איורים מספר 5 ו- 6). עבור פרדסים לא נמצא מובהקות באף אחת מהסקלות המרחביות.



איור מספר 5. מתאם בין אחוז השטח של כל אחד משימושי הקרקע לנגיעות בעש האשכול ב-10 סקלות מרחביות. סמל מלא -  $P \text{ value} < 0.05$ .



**איור מספר 6.** מתאם בין אחוז השטח של כל אחד משימושי הקרקע לנגיעות בקימחון הגפן ב-10 סקלות מרחביות. סמל מלא -  $P \text{ value} < 0.05$ .

## 5. דיון

קיימים הבדלים בנגיעות של קימחון הגפן ועש האשכול ברמת החלקה. הנגיעות של שני הפגעים תלויה במידה רבה בזן הגפנים ובמגדל. ידוע שלזנים שונים רגישות שונה לעש האשכול ולקימחון הגפן. השפעת המגדל על נגיעות נמצאה במחלות שונות (Thébaud et al. 2006; Blank et al. 2016).

לא נמצאה השפעה של שימושי הקרקע על נגיעות בקימחון. פטריה זו מופצת באופן פסיבי במרחב ומושפעת מתנאים אקלימיים ומהרוח ושימושי הקרקע שנבחנו בעבודה זו אינם משפיעים, ככל הנראה, על הפצת המחלה. לא מצאנו נגיעות גבוהה יותר בקימחון באזורים בהם יש יותר כרמים. יתכן וזו אינדיקציה לכך שאין הפצה של קימחון מחלקות סמוכות. בחינה של הפצת קימחון נבדקת במיזם בפרויקט נפרד. עם זאת, למרות שלא מצאנו קשר מובהק סטטיסטית. נראה שבסמוך לחלקות של נשירים נמצא מתאם חיובי גבוה יחסית.

לעש האשכול למעלה מ-200 פונדקאים ידועים, רבים מהם מטעים נשירים. ככל הנראה זה ההסבר למתאם הגבוה ( $r=0.38$ ) והמובהק סטטיסטית לחלקות נשירים. בנוסף לכך, נמצא מתאם חיובי ומובהק סטטיסטית לכרמים הנמצאים בסמוך ובאזור של החלקות הנבדקות. לעומת זאת, לשטחים בנויים ומיוערים נמצא קשר חיובי לנגיעות בעש האשכול בסקלות המרחביות הגדולות. לגבי שטחים בנויים, רוב הישובים באזור המחקר הם כפריים ויתכן שקיימים פונדקאים של המזיק שאינם מטופלים בתוך הישובים כך שהם מהווים מקור

למזיק. לגבי היערות, יתכן וההשפעה היא עקיפה היות ורוב היערות בשטח המחקר שלנו מרוכזים במורדות הרי יהודה. למעשה לשליש מהחלקות אין יער במרחק של 1000 מטרים. לכן יתכן וההשפעה על העש נובעת ממאפני האזור בו גדלים היערות- טופוגרפיה, לחות וכדומה.

בהמשך המחקר נחזור על האנליזה המרחבית בעשר השנים האחרונות בהתאם למידע ההיסטורי שבידנו. בנוסף, נבדוק שימושי קרקע נוספים, לדוגמא, פיצול שימוש הקרקע "נשירים" למינים שונים של נשירים (אפרסמון, תפוח, רימון ועוד).

## 6. הבעת תודה

אנו מודים לד"ר שמוליק עובדיה וד"ר גיל ניר (יקבי כרמל).

## 7. רשימת ספרות מצוטטת

- עובדיה ש., 2005. אפידמיולוגיה של מחלת קימחון הגפן *Uncinula necator* ופיתוח מערכת תומכת החלטה להדברה. חיבור לשם קבלת התואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית.
- Avelino, J., Romero-Gurdián, A., Cruz-Cuellar, H. F., and Declerck, F. A. 2012. Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. *Ecol. Appl.* 22:584–596.
- Beckler, A. A., Wade French, B., and Chandler, L. D. 2005. Using GIS in areawide pest management: a case study in South Dakota. *Trans. GIS.* 9:109–127.
- Bennett, A. F., Radford, J. Q., and Haslem, A. 2006. Properties of land mosaics: implications for nature conservation in agricultural environments. *Biol. Conserv.* 133:250–264.
- Blank, L., Cohen, Y., Borenstein, M., Shulhani, R., Lofthouse, M., Sofer, M., et al. 2016. Variables associated with severity of bacterial canker and wilt caused by *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* in tomato greenhouses. *Phytopathology.* 106:254–261.
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F. G., Crist, T. O., Fuller, R. J., et al. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecol. Lett.* 14:101–112.
- Gadoury, D. M., CADLE-DAVIDSON, L., Wilcox, W. F., Dry, I. B., Seem, R. C., and Milgroom, M. G. 2012. Grapevine powdery mildew (*Erysiphe necator*): a fascinating system for the study of the biology, ecology and epidemiology of an obligate biotroph. *Mol. Plant Pathol.* 13:1–16.
- Harari, A. R., Zahavi, T., Gordon, D., Anshelevich, L., Harel, M., Ovadia, S., et al. 2007. Pest management programmes in vineyards using male mating disruption. *Pest Manag. Sci.* 63:769–775.
- Ioriatti, C., Anfora, G., Tasin, M., Cristofaro, A. D., Witzgall, P., and Lucchi, A. 2011. Chemical ecology and management of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.* 104:1125–1137.
- MacNally, R., and Walsh, C. J. 2004. Hierarchical partitioning public-domain software. *Biodivers. Conserv.* 13:659–660.
- Meentemeyer, R. K., Haas, S. E., and Václavík, T. 2012. Landscape epidemiology of emerging infectious diseases in natural and human-altered ecosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50:379–402.
- Noda, T., and Kiritani, K. 1990. Landing places of migratory planthoppers. *Plant Prot. Jpn.*
-

- Ojiambo, P. S., and Kang, E. L. 2013. Modeling spatial frailties in survival analysis of cucurbit downy mildew epidemics. *Phytopathology*. 103:216–227.
- Ostfeld, R. S., Glass, G. E., and Keesing, F. 2005. Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline. *Trends Ecol. Evol.* 20:328–336.
- Plantegenest, M., Le May, C., and Fabre, F. 2007. Landscape epidemiology of plant diseases. *J. R. Soc. Interface*. 4:963–972.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., and Habib, R. 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32:273–303.
- Reisen, W. K. 2010. Landscape epidemiology of vector-borne diseases. *Annu. Rev. Entomol.* 55:461–483.
- Thébaud, G., Sauvion, N., Chadøeuf, J., Dufils, A., and Labonne, G. 2006. Identifying risk factors for European stone fruit yellows from a survey. *Phytopathology*. 96:890–899.
- Thiéry, D., and Moreau, J. 2005. Relative performance of European grapevine moth (*Lobesia botrana*) on grapes and other hosts. *Oecologia*. 143:548.
- Thrall, P. H., and Burdon, J. J. 2002. Evolution of gene-for-gene systems in metapopulations: the effect of spatial scale of host and pathogen dispersal. *Plant Pathol.* 51:169–184.
- Turner, M. G. 2005. Landscape ecology: what is the state of the science? *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 36:319–344.

## פרק 5. פיתוח כלים לניטור מרחבי של קימחון הגפן

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן פיזור מרחבי

ע"י

עומר פרנקל, ליאור גור, ליאור בלנק

מחלקה למחלות צמחי חקר עשבים, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, ראשון לציון

שמוליק עובדיה

יקבי כרמל מזרחי

### 1. תקציר

לימוד ההפצה במרחב של הפטרייה הביטורופית *Erysiphe necator* מהווה אתגר גדול עקב שונות גנטית נמוכה, מספר הסמנים הגנטיים הזמינים המוגבל והקושי להפיק ולשמר כמות גדולה של תבדידי קימחון אשר אינם גדלים בצלחות פטרי. מטרת המחקר הייתה להגדיר סט סמנים אשר יאפשר לנו לזהות כמות גדולה של גנוטיפים ושיספקו גם מידע פנוטיפי על העמידות לחומרי הדברה מקבוצת הטריאזולים. מטרת המחקר הנוספת הייתה פיתוח שיטה מהירה לאיסוף כמות גדולה של תבדידים אשר ישמשו אותנו בשנות המחקר הבאות. במסגרת המחקר הגדרנו 2 סטים של פרימרים; הסט הראשון כלל פרימרים להגברת הגן CYP51 וזוהו בעזרתו 4 סמני SNP. הכוללים גם את ההבדל בין שתי הקבוצות הגנטיות הקיימות בישראל וגם את סמן לעמידות כנגד חומרי הדברה מקבוצת הטריאזולים. בנוסף, ריצוף סמן ה-SSR ENMS3 תרם עוד 4 גנוטיפים אפשריים וסך הכל 16 מבנים גנטיים (האפלוטיפים) לחקר התפוצה במרחב. בנוסף נבדקו מספר שיטות להפקה ואחסון יעילים של תבדידי *E. necator*. שיטה הכוללת שמירה של תבדידים בתוך מים או בופר של קיט מסחרי MasterPure Yeast  $-80^{\circ}\text{C}$  נבחרה כשיטה בעלת אחוזי הצלחה גבוהים בהפקת תוצר ריצוף אמין ותשמש בהמשך שנות המחקר לאיסוף והפקת DNA.

### 2. מבוא

מחלת הקימחון בגפן הנגרמת על ידי הפטרייה *Erysiphe necator*, היא אחת החשובות מבין מחלות הכרם ומופיעה בכל אזורי הגידול המשמעותיים בארץ ובעולם. המחלה מתפתחת על כל אברי הגפן הירוקים, אך הנזק המשמעותי נגרם לאשכולות והוא עלול להגיע עד אובדן מוחלט של היבול. פטריית הקמחון הינה ביטורופית אובליגטורית, כלומר חייבת לגדול על רקמה חיה של המאכסן שלה. הפטרייה שורדת את תקופת החורף בפקעים, על גבי עלים שנשרו ובחרכי הגזע כגוף מיני בר קיימא הקרוי *Chasmothecia*. בעונת האביב, ה-*Chasmothecia* מתעוררת ומשחררת מתוכה נבגי שק (אסקוספורות) אשר נפוצות במרחב למרחקים קצרים בתוך החלקה אך יש עדויות כי ההפצה מתרחשת גם למרחקים גדולים יותר של עשרות-מאות מטרים ולכן בעלת פוטנציאל להדביק חלקות סמוכות. בהמשך העונה מתרבה הקימחון באופן א-מיני על חלקי הצמח הירוקים ונהוג לחשוב שהוא מופץ למרחקים קצרים יותר.

בשנים 2002–1997 נערך מחקר אפידמיולוגי של המחלה בארץ ובעקבותיו פותחה מערכת תומכת החלטה שנקראה "אשכול" המערכת מתייחסת לכל הגורמים המשפיעים על התפתחות המחלה בארץ ובכלל זה מקורות המדבק הראשוני, הרגישות הפנולוגית של הגרגרים ותנאי האקלים השוררים בתקופת הגידול. מאחר ותהליך קבלת ההחלטות מחייב מידע אמין אודות המצאות המחלה בכרם וחומרתה, פותחה בתחילת המחקר שיטה לניטור אמפירי של המחלה. ההתמודדות עם מחלת הקימחון בגפן מתבססת על יישום של

תכשירי הדברה ומקובל להשתמש, בין היתר, בתכשירים מקבוצת הארגוסטרולים (DMI) ומקבוצת הסטרובלוריינים (QoI). קבלת החלטות מתבססת על נתונים הנאספים ברמת החלקה הבודדת ואין כלל התייחסות להמצאות המחלה וחומרתה בחלקות הגפן הסמוכות. בשנים האחרונות הצטברו דיווחים על התפתחות אוכלוסיות של הפתוגן העמידות לתכשירי ההדברה מהקבוצות הללו ונראה שהתבדידים נפוצים במרחב. אם זאת, עדיין אין מידע אמין בנושא, התפתחות תסמיני הקימחון האופייניים בחלקת כרם מסוימת לא מרמזת בהכרח, באם המקור של גורם המחלה היה מתוך החלקה עצמה או שהוא הגיע מחלקה סמוכה. כדי לתעד את ההפצה של הפטרייה *E. necator* במרחב יש להשתמש באיפיון גנוטיפי היכול להבחין בין אוכלוסיות שונות של הפטרייה לחקר ההפצה של המחלה במרחב. זהו אתגר משמעותי הנובע משונות גנטית נמוכה באוכלוסיות ועקב כך ממחסור בסמנים פולימורפים. בנוסף, קיים אתגר טכני בהפקת DNA ממספר גדול של תבדידים אשר ניתן להפקה רק מרקמה חייה אשר לא ניתנת לשמירה במצעי גידול מלאכותיים.

היעד המרכזי של המחקר הנוכחי הוא תיעוד דפוס ההפצה של הפטרייה *E. necator* בין ובתוך חלקות גידול. בשנת המחקר הראשונה עסקנו בפיתוח שיטות דיגום אינפורמטיביות ומהירות אשר יאפשרו עבודה עם מספר תבדידים גדול שהמטרות הספציפיות היו: (1) זיהוי מוטציות בגן *CYP51* המאפיינות עמידות כלפי טריאזולים ומוטציות ניטרליות המבדילות בין אוכלוסיות; (2) פיתוח שיטה מהירה ואמינה לאיסוף של תבדידים קימחון בשטח.

### 3. תיאור הניסויים שבוצעו

כאמור במסגרת השנה הראשונה המטרה הייתה לפתח שיטה מהירה לדיגום הכוללת סט סמנים אמין המאפשר זיהוי פולימורפיזם רחב ככל האפשר ופיתוח שיטת דגימה. המחקר מבוסס על העובדה כי בישראל קיימות שתי אוכלוסיות של *E. necator*, הראשונה זהה לאוכלוסיה האירופאית הקרויה טיפוס B והשנייה נראית מתצפיות ראשונות כייחודית לישראל, שונה מטיפוס A האירופאית ולא ידוע עדין דבר על המבנה הגנטי שלה. הגן *CYP51* (sterol 14 $\alpha$ -demethylase) הינו בעל תפקיד מכריע בעמידות פטריות כנגד פונגיצידים מעכבי ארגוסטרול (DMI) ובאירופה ידועה מוטציה נקודתית בעמדה 495 של הגן בה מוחלף קודון A - בקודון T הגורם למוטציה בחומצה אמינו בעמדה 136 ולהחלפת אלנין בפניל אלנין. מוטציה זאת הגורמת לעמידות כנגד חומר ההדברה. עם זאת, במחקר שבוצע באוכלוסיות בארצות הברית נמצאו מוטציות נוספות בעלות קורלציה חזקה לעמידות לחומר ההדברה. במסגרת המחקר הוחלט להתרכז בגן הנ"ל ולרצף את האזור הצפוי להכיל מוטציות נוספות אשר סמני SNPs אלו ישמשו להמשך המחקר.

#### 3.1 פיתוח סט סמנים לבדיקת ההפצה במרחב

##### 3.1.1 ריצוף הגן *CYP51* כפלטפורמה לזיהוי פולימורפיזם:

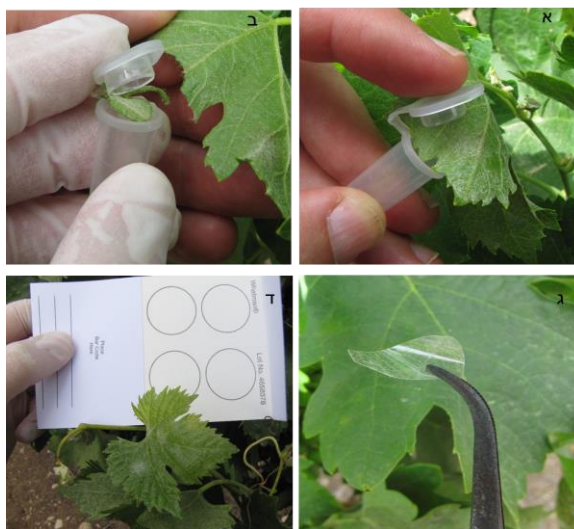
שנים עשר תבדידים קמחון נדגמו בשטחי גידול מסחריים באזור לטרון ושפלת יהודה. מושבות לבנות אופייניות בודדו בעזרת ניר דביק וChelex כפי שתואר על ידי Frenkel et al., 2010. הקטע המקודד של הגן *CYP51* הוגבר בעזרת סט של שני פרימרים שפותחו על ידי Frenkel et al., 2015, ENCYP 89F ו-ENCYP 856R. תוצרי הגנים נוקו בעזרת קיט ZYMO ונשלחו להרצפה גנטית והרצפים הושו בעזרת תוכנת BioEdit. בנוסף רוצפו מקטעים של הגן שנלקחו מתבדידים רפרנס אירופאים מגנוטיפים A ו B שסופקו על ידי פרופסור מייקל מילגרום ולאנס קידל דוידסון מאוניברסיטת קורנל, ארה"ב. בנוסף רוצף סמן ENMS3 SSR בעזרת פרימרים ENSSR3F ו-ENSSR3 אשר פותחו על ידי Frenkel et al., 2012 והרצפים הושו למציאת אתרים פולימורפים נוספים ברצפי ה DNA והגדלת השונות הידועה באוכלוסיה.



### 3.2 פיתוח שיטות דיגום להתמודדות עם מספר רב של דגימות קימחון

#### 3.2.1 פיתוח שיטת דיגום מהירה מעלי קימחון בכרם

פטריית הקימחון הנה ביוטרופית ושורדת רק על רקמה חייה ולא על מצע גידול. מצב זה, איננו מאפשר בידוד וגידול פטריות בתנאי תרבות ומחייב דגימה מהירה היישר מהעלה והאשכולות הנגועים. במטרה לפתח שיטה מהירה לדגימה נאספו בתאריך 10.5.16 תבדידי קימחון הגפן מחלקת ניסוי בכרם ליד מבוא חורון. נוסו ארבע דרכים לאיסוף DNA מהפטרייה (1) לקיחת דסקיות עלה באמצעות מבחנת אפנדורף, גירוד הקונידיות מדסקית בעזרת טיפ סטרילי לתוך Lysis buffer של קיט MasterPure Yeast של חברת Epicenter והמשך הפקה לפי פרוטוקול היצרן (איור 1-א1; 2) לקיחת עלים שלמים (כל עלה בשקית ניילון נפרדת), גירוד הקונידיות לתוך מבחנה והמשך כפי שבוצע בסעיף 1; 3) שימוש בשיטת ההפקה שתוארה על ידי Frenkel et al., 2012 בעזרת סלוטייפ המדביק את הנבגים והרדת ה DNA בעזרת 5% Chelex (איור 1א1); 4) שימוש ב- FTA cards של חברת Whatman על ידי מחיצת העלה עם מושבת הקימחון בעזרת פינצטה והכנסתו למבחנה. המשך הפקת ה DNA מהנייר בוצע בעזרת 5% Chelex כפי שתואר בסעיף 3 (איור 1ד1). ה DNA שהופק בכל אחת מהשיטות הוגבר בעזרת הפרימרים ENCYP 89F ו ENCYP 856R של הגן CYP51 כפי שתואר בסעיף 3.1.1.



**איור מספר 1.** שיטת דיגום מושבות קמחון מעלי גפן מזן קריניאן בעזרת מבחנת אפנדורף (1-א1); נייר דבק (1ג) ו FTA card של חברת Whatman (1ד)

#### 3.2.2 פיתוח שיטה לשמירת תבדידי קמחון בין השדה עד לשלב ההפקה

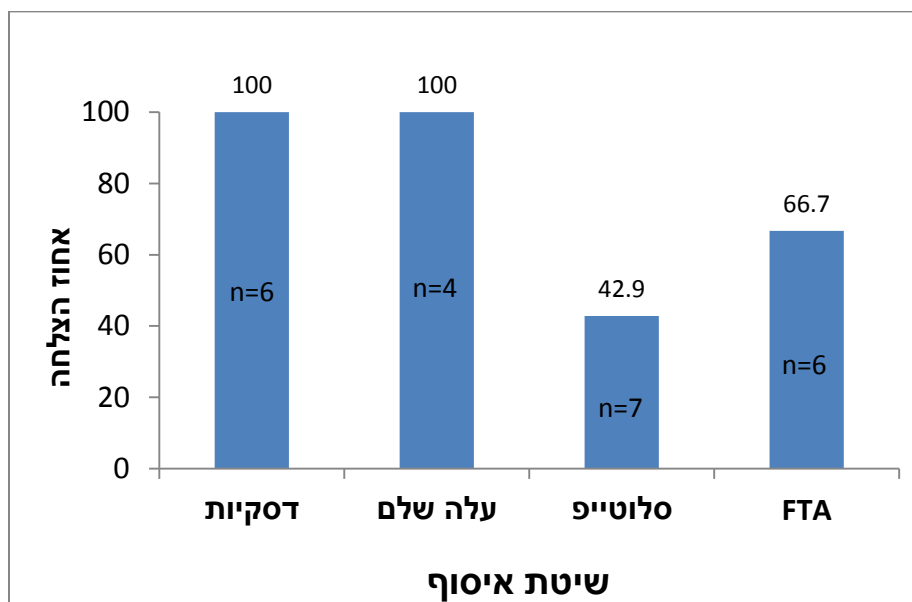
מיזם ההפצה במרחב תלוי בדינמיקה של הפצת התבדידים בעונה, אופי ההפצה ועוצמתה אינם ניתנים לחיזוי ועל כן יש צורך לאסוף מספר גדול של תבדידים בתחילת העונה המאפשר גמישות. הבעיה היא שלא קיימת שיטה לשמור את נבגי הקמחון שלמים לפרק זמן ארוך. במטרה לאפשר איסוף מספר דגימות גדול אשר ממנו יהיה ניתן יהיה בשלב מאוחר של העונה לבצע הפקות DNA נלקחו מחלקת ניסוי במכון וולקני בית דגן דוגמאות מעלים ב17.8.2016 לשימור בשתי שיטות. 1) דסקיות עלה באמצעות מבחנת אפנדורף והוכנסו ל Lysis buffer של הקיט המסחר MasterPure Yeast והוקפאו ל-20 ימים ב-80°C; 2) לקיחת דסקיות עלים במים סטריליים nuclease free והוקפאו ל-20 ימים ב-80°C; 3) ביקורת של מושבות קמחון על עלים טריים. ה DNA הופק בהתאם לפרוטוקול של הקיט המסחר MasterPure Yeast והמקטע של הגן CYP51 הוגבר והורצף.



## 4.2. פיתוח שיטות דיגום להתמודדות עם מספר רב של דגימות קמחון הגפן

### 4.2.1 פיתוח שיטת דיגום מהירה מעלי קמחון בכרם

שיטות הפקת ה-DNA נבדקו כולם עד לשלב ריצוף התוצר, השיטה המהירה ביותר (שיטה 3 בעזרת נייר הסלוטייפ) הניבה את אחוזי ההצלחה הנמוכים ביותר (42%), השיטה היקרה ביותר (שיטה 4 בעזרת נייר) הניבה אחוזי הצלחה של 62%. שיטות ההפקה הארוכות ביותר הניבו אחוזי הצלחה גבוהים של 100%, גם בשיטת גירוד נבגים מעלים שלמים (שיטה 2) וגם בשיטת האיסוף מדסקיות העלים (שיטה 1), (איור מספר 4). מתוך הדוגמאות שהניבו תוצר והורצפו, איכות ה-DNA ותוצר ההרצפה היו באיכות גבוהה.



**איור מספר 4:** אחוזי ההצלחה של שיטות הפקת ה-DNA ישירות מעלים שנאספו בכרם. שיטות ההפקה כללו הפקה מדסקיות עלים בעזרת קיט MasterPure, הפקה מעלים שלמים וגירוד נבגים לתוך מבחנה עם בופר הפקה של קיט MasterPure, שימוש בסלוטייפ, או בנייר הפקה FTA. בתוך כל עמודה מצויין מספר התבדידים שנאספו ומעליה אחוז ההפקות המוצלחות אשר הראו תוצר DNA נקי.

### 4.2.2 פיתוח שיטה לשמירת תבדידי קמחון בין השדה עד לשלב ההפקה

כל שיטות האחסון שכללו שמירה במשך שבועיים ב-80°C והפקת ה-DNA ישירות מהמבחנה הניבו אחוזי הצלחה גבוהים. שמירת נבגים בבופר של קיט מסחרי MasterPure הניב 60% הצלחה ושמירה במים Nuclease free הניבו 100% הצלחה. הביקורת שכללה הפקה ישירה מדסקיות עלים הצליחה ב-60% מההפקות.

## 5. דיון

במסגרת הדיגום שבצענו נראה כי ריצוף הגן CYP51 מספק לנו 3 סמנים גנטיים. הסמן הראשון בעמדה 495 הינו בעל משמעות פנוטיפית ברורה ומאפשר לנו זיהוי לתבדידים עמידים או רגישים לטריאזולים. אמנם ממחקרים שבוצעו בארצות הברית קיימות מוטציות נוספות בגן עם קורלציה לעמידות לטריאזולים, אך מוטציות אלו לא נתגלו בישראל, אירופה או שאר האוכלוסיות מחוץ למזרח ארצות הברית שם קיים מגוון

גנטי גדול של התבדידים. שתי מוטציות נוספות בעמדות 143 ו- 608 נמצאות בתאחיזה מלאה זו עם זו ומספקות האפלוטיפ גנטי נוסף אשר כרגע לא ברורה משמעותו אקולוגית או הפנוטיפית. עם זאת זוג מוטציות אלו מאפשר לנו להפיק מריצוף הגן CYP51 מעקב והפרדה בין ארבעה האפלוטיפים שונים וכל זאת בעזרת ריצוף של מקטע גן בודד. בנוסף ריצוף סמן ה-ENMS3 מאפשר לנו לזהות עוד ארבעה האפלוטיפים נוספים. לפי דעתנו ריצוף שני הגנים מייצר כלי יעיל למעקב אחרי השונות במרחב. בעיה נוספת היא איסוף ושימור תבדידים מעלי קמחון הגפן. במסגרת המחקר הצלחנו לפתח מספר שיטות. השיטה הזולה והמהירה ביותר בעזרת נייר הסלוטיפ מאפשרת איסוף מהיר של כמות תבדידים גדולה אך מספקת אחוזי הצלחה של 42% בלבד. שיטות האיסוף בעזרת קיט MasterPure, הינן איטיות ויקרות יותר אך אחוזי ההצלחה גבוהים יותר ובנוסף מאפשרים בצורה יחסית פשוטה לאחסן את התבדידים לפני ההפקה למשך שבועיים לפחות. מרווח זמן זה הכרחי עבורנו במהלך העונה לבחירת מספר התבדידים ואופי התבדידים בהתאם להתנהגות המחלה אחרי האיסוף הראשון. על כן, נראה כי שמירה במים והפקה של דיסקיות הינה השיטה המועדפת להמשך המחקר.

## 6. הבעת תודה

אנו מודים לפרופסור Michael Milgroom ופרופסור Lance Cadle Davidson מאוניברסיטת קורנל על תבדיד הקמחון.

## 7. רשימת ספרות מצטטת

- 1) Frenkel, O., Cadle-Davidson, L., Wilcox, W.F. and Milgroom, M.G. (2015). Mechanisms of resistance to an azole fungicide in the grapevine powdery mildew, *Erysiphe necator*. *Phytopathology* 105: 370-377.
- 2) Frenkel, O., Portillo, I., Brewer, M.T., Peros, J.P., Cadle-Davidson, L and Milgroom, M.G. (2012). Development of microsatellite markers from the transcriptome of *Erysiphe necator* for analyzing population structure in North America and Europe. *Plant Pathol.* 61:106-119.

# פרק מספר 6. שינויים עיתיים באוכלוסיות *Phytophthora infestans*, מחולל מחלת הכימסון בישראל

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן: התפשטות פגעים הזמן ובמרחב

ע"י

יגאל כהן, אסתי שמבה, אבגניה רובין ומריאנה גלפרין

אוניברסיטת בר אילן

## 1. תקציר

מטרת העבודה הייתה לעקוב אחר הדינמיות הפולימורפית של *Phytophthora infestans* בארצנו. העבודה יצאה נשכרת מהזמינות של תבדידים רבים במעבדה שנאספו במהלך 30 השנים האחרונות משדות תפוזי ועגבנייה בארץ. הזמינות של התבדידים הוותיקים והתבדידים החדשים שאספנו במהלך שנת 2015 ו- 2016 בארץ אפשרו לעשות עבודה פנוטיפית וגנוטיפית מקיפה ובכך לעקוב אחרי השינויים שחלו במהלך השנים האחרונות עד 2015 וכן בשינויים שחלו ב- 2016 לעומת 2015. סה"כ נאספו במעבדתנו 1236, בעיקר מהנגב המערבי. העלים הנגועים נבדקו באוניברסיטת בר אילן לעמידות לחומר ההדברה MFX, virulence factors וזוויגיות. הפקת ה-DNA ואנליזת SSR נעשתה במכון המחקר "James Hutton Institute" בעיר דנדי שבסקוטלנד. בדיקות פנוטיפיות נעשו על 1112 תבדידים ובדיקות גנוטיפיות נעשו על 476 תבדידים. בבדיקות הפנוטיפיות נמצאה כי 222 תבדידים הראו עמידות (R) ל-MFX, 266 תבדידים הראו עמידות ביניים (I), ו-588 תבדידים היו רגישים (S); 353 תבדידים השתייכו לזוויג A1 ו-451 תבדידים השתייכו לזוויג A2; הקומבינציה הנפוצה של גורמי האלימות בתפוזי היא 1,3,4,7,9. הבדיקות הגנוטיפיות באמצעות SSR הראו כי בארץ קיימים שלושה גנוטיפים עיקריים 23\_A1, us7-like ו-13\_A2. 274 תבדידים היו מגנוטיפ 23\_A1, 141 תבדידים היו מגנוטיפ us7-like ו-58 תבדידים היו מגנוטיפ 13\_A2. מעניין לציין, שהיו תבדידים מגנוטיפ 13\_A2 שהשתייכו לזוויג 1 ורגישים ל-MFX ותבדידים מגנוטיפ 23\_A1 שהשתייכו לזוויג A2 ועמידים ל-MFX. יש להניח שהשונות הרבה באוכלוסיית הפתוגן בארץ נובעת בחלקה מרבייה מינית של הפתוגן באמצעות אואוספורות.

## 2. מבוא

מטרת העבודה הייתה לעקוב אחר הדינמיות הפולימורפית של *Phytophthora infestans* בארצנו. העבודה יצאה נשכרת מהזמינות של תבדידים רבים במעבדה שנאספו במהלך 30 השנים האחרונות משדות תפוזי ועגבנייה בארץ. הזמינות של התבדידים הוותיקים והתבדידים החדשים שאספנו במהלך שנת 2015 ו- 2016 בארץ אפשרו לעשות עבודה פנוטיפית וגנוטיפית מקיפה ובכך לעקוב אחרי השינויים שחלו במהלך השנים האחרונות עד 2015 וכן בשינויים שחלו ב- 2016 לעומת 2015.

## 3. תיאור הניסויים שבוצעו

אפיון פנוטיפי וגנוטיפי של תבדידי *P. infestans* בארץ כלל בדיקות של הפרמטרים הבאים: בדיקת זוויגיות (Mating type), בדיקת עמידות לפונגיציד MFX, בדיקת גורמי אלימות (Virulence factors) לתפוזי ולעגבנייה ואפיון גנוטיפי מולקולארי ע"י שימוש בסמני SSR.

**3.1 מבחן לזוויגיות (Mating type):**

כל תבדיד זווג על גבי עלי *Lycopersicon esculentum* (ZH) עם תבדיד רפרנס הידוע כ-A1 (000164) ועם תבדיד רפרנס הידוע כ-A2 (55D), תבדידים אלו שימשו כטסטרים. תבדיד שהוא A1 יצר אואוספורות עם תבדיד הרפרנס הידוע כ-A2 ואילו תבדיד A2 יצר אואוספורות עם תבדיד הרפרנס הידוע כ-A1. בנוסף כביקורת נבדקה יצירת אואוספורות עצמית של כל תבדיד בנפרד. תבדידים שהגיעו כתערובת מהשדה ויצרו אואוספורות בעצמם כונו A1+A2. תבדידים שהיו בעלי יכולת הזדווגות גם עם זוויג A1 וגם עם זוויג A2 אך לא יצרו אואוספורות לבד נקראו A1A2.

**3.2 מבחן לרגישות ל-MFX**

עלי עגבנייה רגישים לכימסון (ZH) נותקו והונחו בצלחות פטרי ע"ג נייר סינון לח כשצידם התחתון כלפי מטה. כל מבחן כלל 5 צלחות כשבכל אחת שני עלים. העלים רוססו ב-MFX בריכוזים הבאים 0 (ביקורת מים), 0.1, 1, 10, 100 ח"מ של חומר פעיל. נבגים של *P. infestans* הורדו מעלים נגועים של תפוז"א או עגבנייה שהתקבלו מהשדה אל תוך מים מזוקקים קרים. הנבגים שימשו לאילוח עלי עגבנייה המטופלים ב-MFX, 6 טיפות של 10 מיקרוליטר לכל עלה. הצלחות הודגרו בתא ערפל ב-18 מעלות במשך לילה ואחר כך ב-20 מעלות תחת פוטופריודה של 12 שעות. כעבור 5 ימים נקראה עוצמת הספורולציה של מחולל הכימסון ע"ג העלים הנגועים. האפיון לעמידות נעשה כלהלן: תבדיד שהנביג על כל סדרת העלים נחשב עמיד ל-MFX. תבדיד שהנביג על 0,0.1,1,10 ח"מ נחשב לבעל עמידות ביניים. תבדיד שהנביג על 0,0.1,1 ח"מ נחשב לרגיש ל-MFX. תבדיד שהנביג על 0,0.1 ח"מ נחשב לרגיש במיוחד ל-MFX.

**3.3 מבחן לגורמי אלימות**

סדרה של 11 זנים תפוז"א דיפרנציאלים (סדרת Black) [1] שכל אחד מהם נושא גן אחר לעמידות כנגד כימסון שימשה לקביעת גורמי האלימות (Race structure) של כל אחד מתבדידי השדה שהגיעו למעבדה. הזנים הדיפרנציאלים גודלו בעציצים והורבו מתרבויות רקמה שהגיעו במקור מחברת Syngenta בשוויץ. הצמחים גודלו בעציצים בחממה. עלה אחד מכל זן נותק והונח במגשית 20X20 ס"מ ע"ג נייר סינון לח כשצידו התחתון כלפי מעלה. העלה השנייים עשר היה עלה של ZH. העלים אולחו בתרחיף של תבדידי השדה, סט עלים דיפרנציאלים אחד לכל תבדיד שדה. העלים הודגרו כמו במבחן הקודם וכעבור שבוע נבחנה הספורולציה של הפתוגן ע"ג העלים. ה-Race structure נקבע ע"פ הגנים לעמידות שעליהם הצליח התבדיד להתגבר. דהיינו להנביג. כך למשל תבדיד שהנביג ע"ג זנים הנושאים את הגנים לעמידות 1,3,4,7,9 נחשב לתבדיד הנושא את גורמי האלימות 1,3,4,7,9.

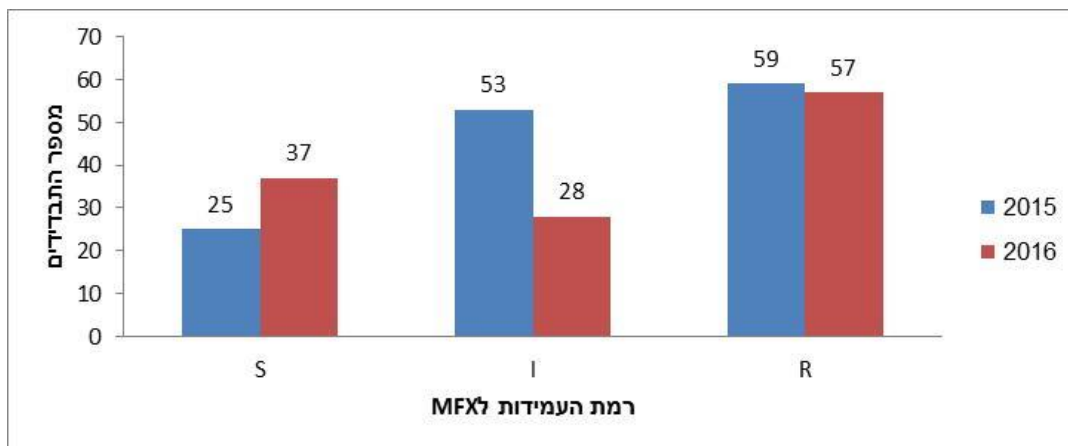
**3.4 אפיון גנוטיפי של תבדידי *P. infestans* במכון המחקר "James Hutton Institute" בסקוטלנד**

במסגרת שיתוף פעולה עם מעבדתו של פרופ' דויד קוק נשלחה התלמידה אסתי שמבה לחודש ימים למכון המחקר "James Hutton Institute" לביצוע של בדיקות גנוטיפיות ל-700 דוגמאות של *P. infestans*. הנתונים שהופקו מהדוגמאות מהארץ יחד עם דוגמאות מחו"ל הוכנסו לאתר Euroblight כחלק ממחקר מקומי המתבצע באירופה. הנתונים ניתנים לצפייה באתר Euroblight.

**4. תוצאות****4.1 תוצאות פנוטיפיות**

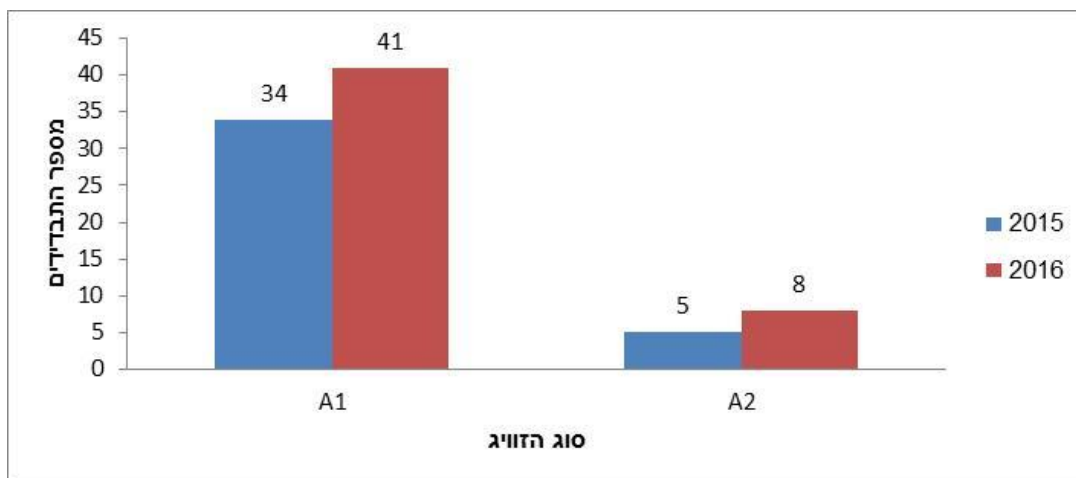
מתוך 344 תבדידים שנאספו בשנים 2015-2016 נתקבלו תוצאות עבור 259 תבדידים לעמידות ל-MFX (137 תבדידים בשנת 2015 ו-122 תבדידים בשנת 2016). התוצאות מובאות באיור מספר 1. בשנת 2015 רוב התבדידים היו עמידים או בעלי עמידות ביניים ורק 18% היו רגישים ל-MFX (R: 43 I: 39 S: 18). לעומת

זאת, בשנת 2016 חלה ירידה במספר התבדידים בעלי עמידות ביניים (ירידה מ 53 תבדידים בשנת 2015 ל 28 תבדידים בשנת 2016, ירידה של כ 50%) ועלייה במספר התבדידים הרגישים (מ 25 תבדידים בשנת 2015 ל 37 תבדידים בשנת 2016). לא נצפה שינוי במספר התבדידים העמידים בין שנת 2015 לשנת 2016 (59 תבדידים עמידים בשנת 2015 ו-57 תבדידים עמידים בשנת 2016).



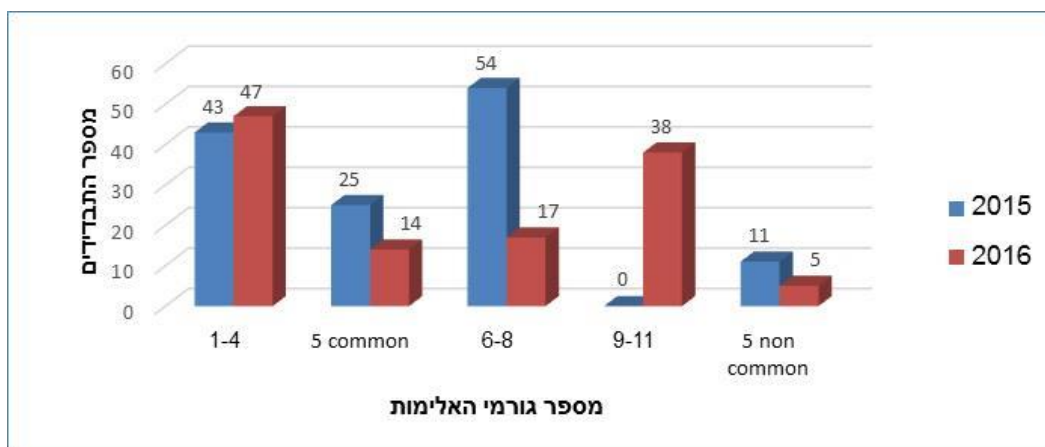
איור מספר 1. רמת העמידות של תבדידי *P. infestans* ל MFX - בשנים 2015-2016.

התפלגות התבדידים לסוג הזוויג מובאת באיור מספר 2. רוב התבדידים שנבדקו השתייכו לזוויג A1 ומספר מועט של תבדידים השתייכו A2.



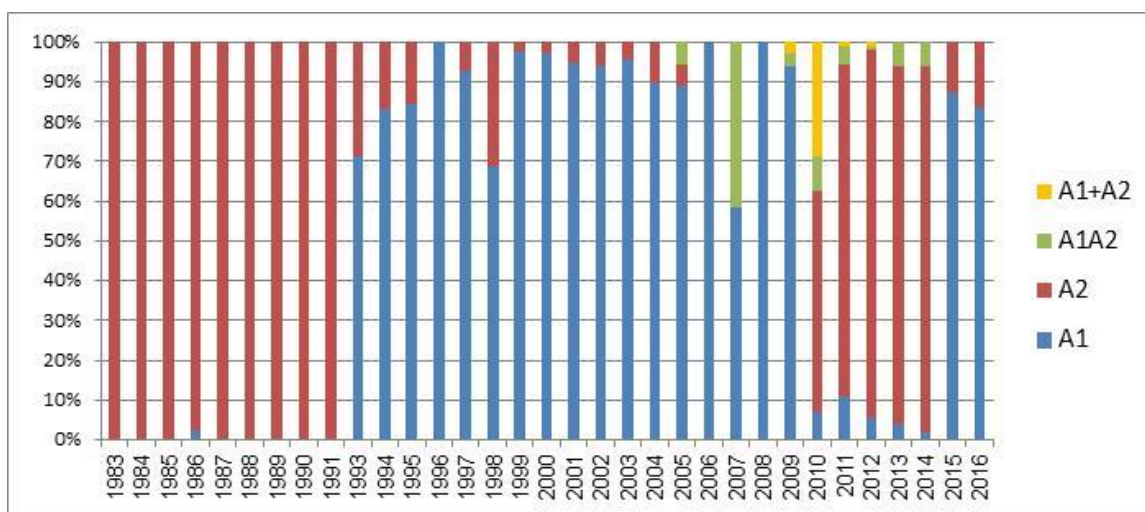
איור מספר 2. רמת הזוויגיות של תבדידי *P. infestans* ל MFX - בשנים 2015-2016.

נבדקו 254 תבדידים לגורמי אלימות לתפוי"א (133 תבדידים במהלך שנת 2015 ו- 121 תבדידים במהלך שנת 2016). התפלגות הופעת גורמי האלימות לתפוי"א מובאת באיור מספר 3. בשנת 2015 רוב התבדידים היו בעלי שישה עד שמונה גורמי אלימות לעומת שנת 2016 שבה חלה ירידה חדה במספר התבדידים אשר נשאו שישה עד שמונה גורמי אלימות. כן חלה ירידה במספר התבדידים אשר מראים את מקבץ גורמי אלימות הנפוצים (1,3,4,7,9). בשנת 2016 חלה עלייה ניכרת במספר התבדידים שהראו עמידות ליותר מתשעה גורמי אלימות (מ 0 תבדידים בשנת 2015 ל 38 תבדידים בשנת 2016).



איור מספר 3. תדירות הופעת גורמי האלימות בתפ"א בין השנים 2015-2016.

באיור מספר 4 מוצגת התפלגות תבדידי *P. infestans* לזוויגיות בין השנים 1983-2016. בין השנים 1983-1992 הרוב המוחלט של התבדידים השתייכו לזוויג A1 ובין השנים 2010-2014, רוב התבדידים השתייכו לזוויג A2. בין השנים 2015-2016 אוכלוסיית התבדידים בארץ שבה להיות בעיקרה בעלת זוויגיות A1. לראשונה בשנת 2005 נמצאו מספר תבדידים אשר היו A1A2 (תבדידים דו-מיניים בעלי יכולת הזדווגות עם A1 ועם A2 אך בלי יכול לייצר אואוספורות לבד). תבדידי A1A2 המשיכו להופיע במהלך השנים עד שנת 2015 בתדירות מועטה. בין השנים 2009-2012 הופיעו כמה תבדידים מטיפוס A1+A2 (תבדידים אשר הגיעו כתערובת של שני הזוויגים ע"ג אותו עלה).

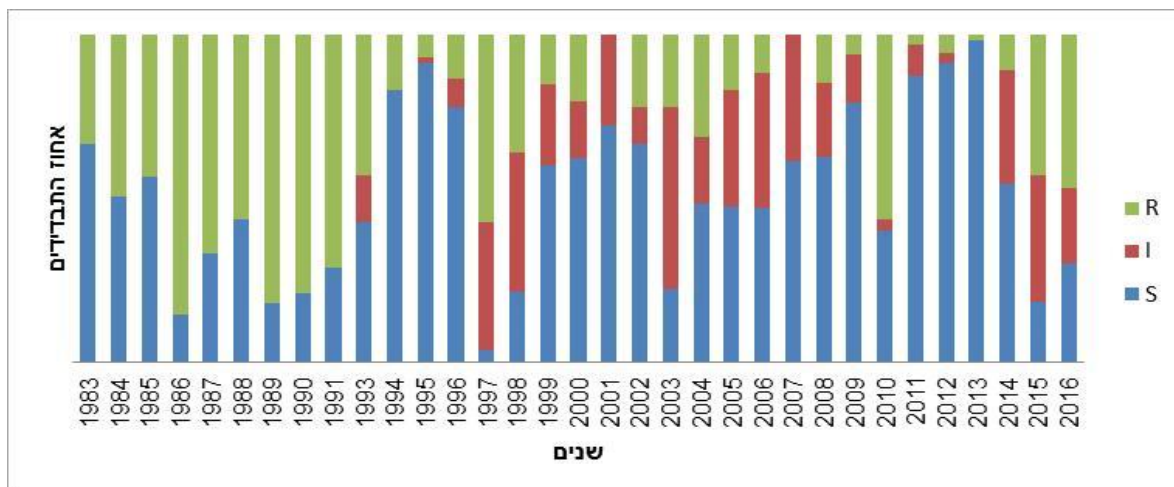


איור מספר 4. התפלגות הזוויגיות של תבדידי *P. infestans* בין השנים 1983-2016.

איור מספר 5 מציג את התפלגות תבדידי *P. infestans* לעמידות ל- MFX בין השנים 1983-2016. התבדידים התפלגו לתבדידים עמידים, בעלי עמידות ביניים ורגישים. בין השנים 1983-1992 שלטו באוכלוסייה תבדידים עמידים ורגישים. בשנת 1993 הופיעו לראשונה תבדידים בעלי עמידות ביניים והיו נוכחים עד שנת 2016 (שנת 1993 הייתה השנה הראשונה שבה הופיע לראשונה הזוויג A1 (ראה איור מספר 4)). ייתכן כי שני סוגי הזוויגים עברו רבייה מינית ויצרו אואוספורות וצאצאיהם הראו עמידות ביניים כיוון שהעמידות ל- MFX מבוקרת ע"י גן יחיד חצי דומיננטי). בין השנים 1994-1996 אוכלוסיית התבדידים חזרה להיות רגישה ל- MFX. בשנת 1997 חלה עלייה חדה במספר התבדידים העמידים ל- MFX אך שנה לאחר מכן בשנת 1998, חלה מגמת

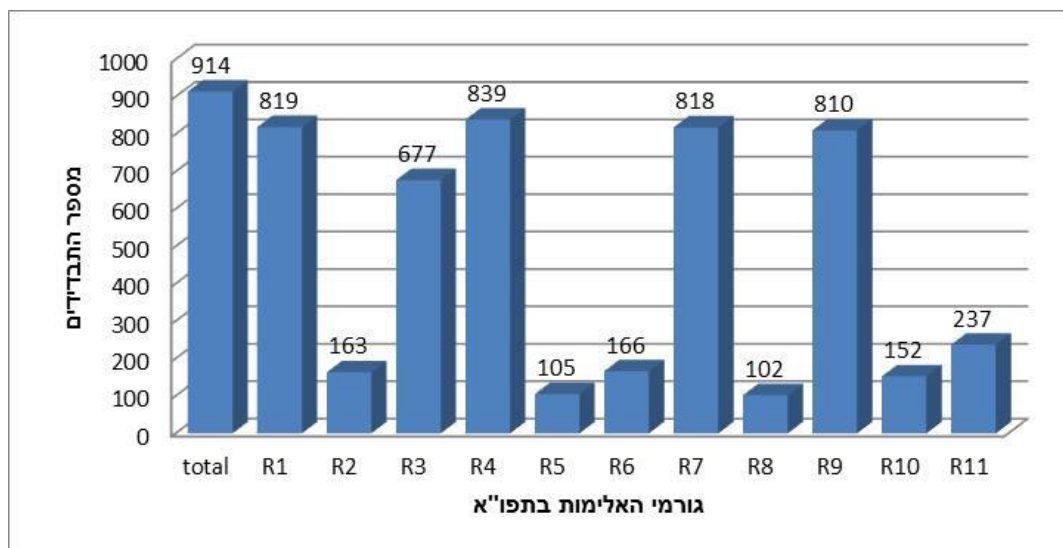


עלייה במספר התבדידים הרגישים ל - MFX עד לשנת 2013 שבה הרוב המוחלט של האוכלוסייה היו רגישים ל- MFX. בין השנים 2014-2016 שוב עלה מספר התבדידים העמידים ל - MFX.



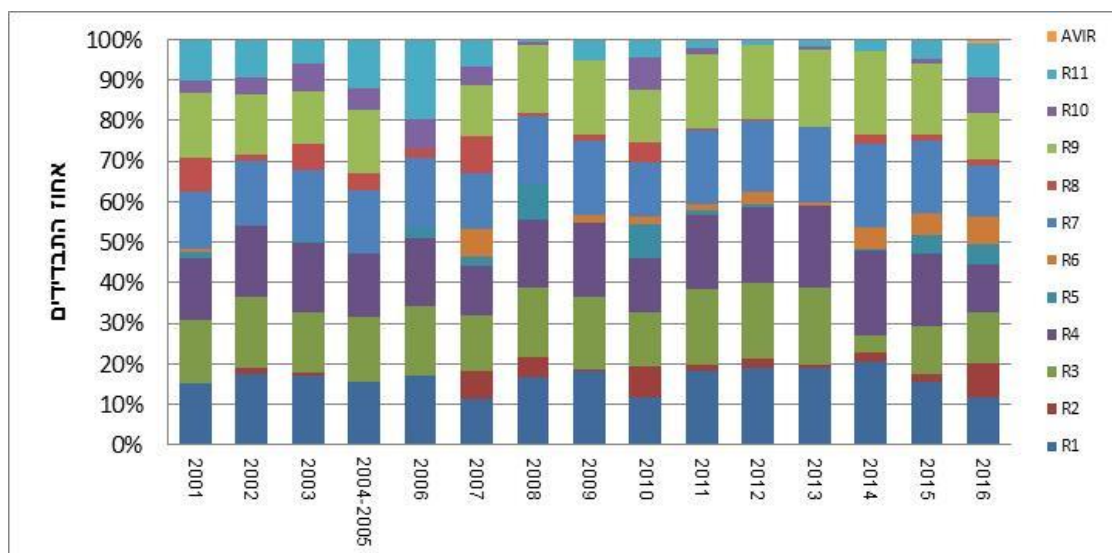
**איור מספר 5.** התפלגות העמידות של תבדידי *P. infestans* ל - MFX בין השנים 1983-2016.

התפלגות גורמי האלימות לתפוי"א בשנים 2001-2016 מוצגת באיור מספר 6. גורמי האלימות הנפוצים לתפוי"א הם 1,3,4,7,9. גורמי האלימות הנדירים הינם 5 ו - 8, שכן מספר מועט של תבדידי כימשון מצליחים לתקוף אותם. המספר הכולל של התבדידים שנבדקו לגורמי אלימות בתפוי"א הינו כ- 900 תבדידים.



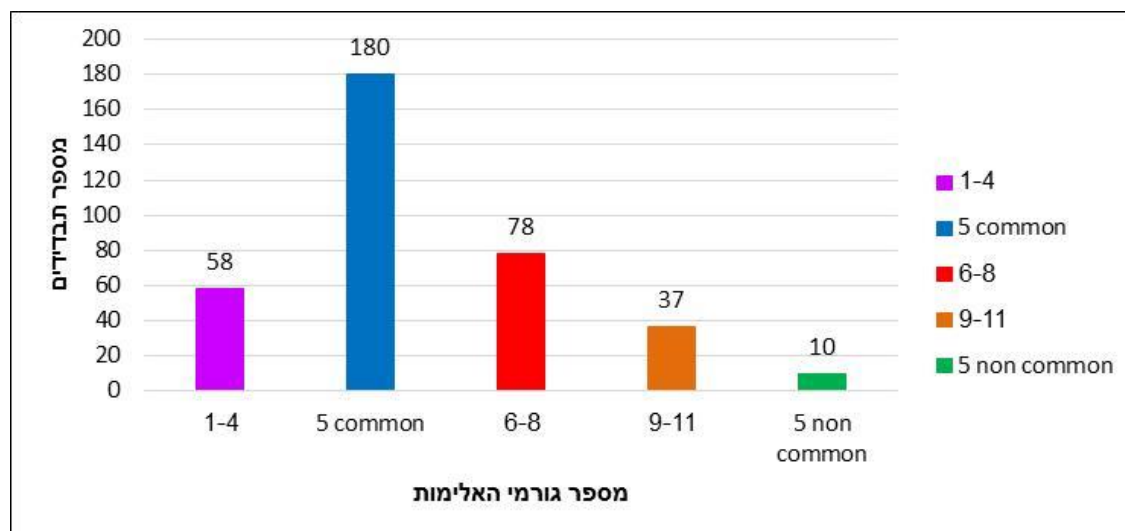
**איור מספר 6.** התפלגות גורמי האלימות לתפוי"א בשנים 2001-2016.

איור מספר 7 מראה כי תבדידי 2015-2016 היו עשירים יותר בגורמי אלימות לעומת השנים הקודמות.



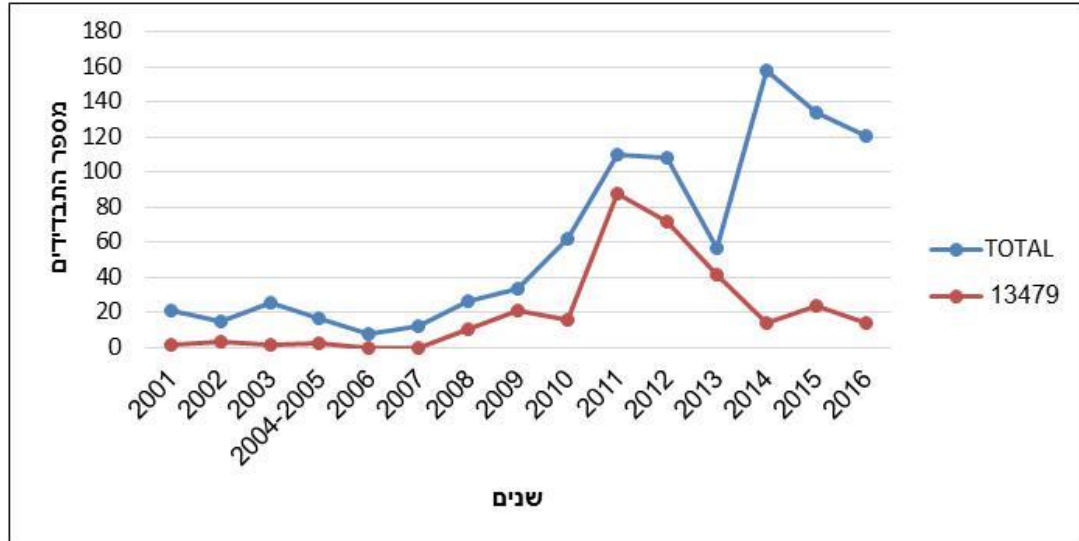
**איור מספר 7.** תדירות הופעת גורמי האלימות לתפוז"א בין השנים 2001-2016.

איור מספר 8 מראה שרוב תבדידי 2001-2016 היו בעלי חמישה גורמי האלימות הנפוצים (1,3,4,7,9). מיעוטם הראו 9-11 גורמי אלימות. מספר מזערי הראו חמישה גורמי אלימות שאינם הנפוצים (1,3,4,7,9).



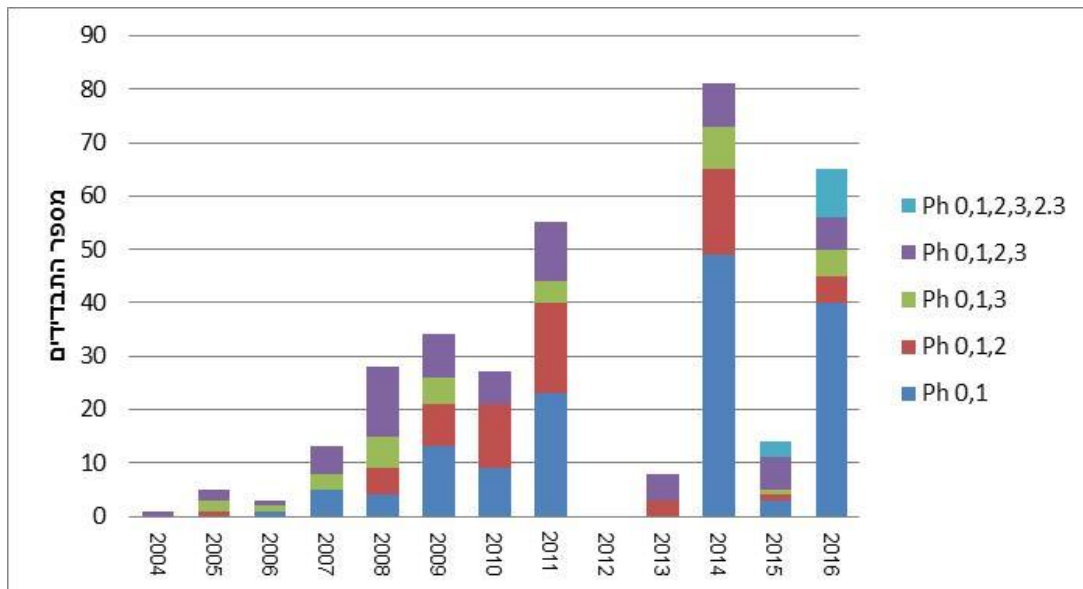
**איור מספר 8.** התפלגות מספר גורמי האלימות לתפוז"א בין השנים 2001-2016.

איור מספר 9 מציג את תדירות הופעתם של חמשת גורמי האלימות הנפוצים בתפוז"א בין השנים 2001-2016. תדירותם באוכלוסייה בין השנים 2001-2013 הייתה זהה לתדירותם הרגילה באוכלוסיית הפתוגן, אך בין השנים 2013-2016 חלה ירידה בתדירות היחסית באוכלוסייה. הסיבה לכך אינה ידועה.



**איור מספר 9.** תדירות הופעתם של חמשת גורמי האלימות הנפוצים לתפו"א (1,3,4,7,9) בין השנים 2001-2016.

איור מספר 10 מציג את התפלגות גורמי האלימות לעגבנייה לתבדידי 2004-2016. נראה בבירור שתבדידי 2015-2016 יותר תוקפנים לעגבנייה מתבדידי השנים הקודמות.

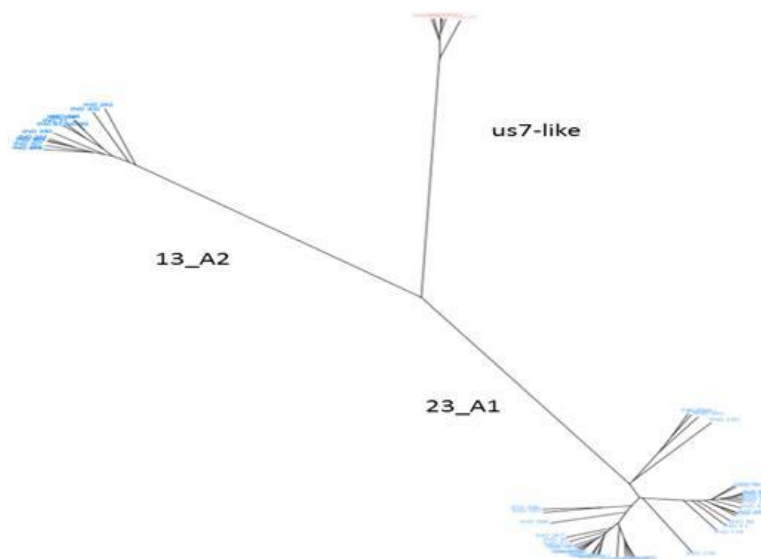


**איור מספר 10.** תדירות הופעתם של חמשת גורמי האלימות הנפוצים לתפו"א (1,3,4,7,9) בין השנים 2001-2016.

#### 4.2 תוצאות גנוטיפיות

הבדיקות הגנוטיפיות נעשו במעבדתו של דיוויד קוק ע"י שימוש באנליזת SSR והרצת ה PCR במכשיר אלקטרופורזה קפילארית. נבדקו 476 תבדילים והתברר שבארצנו קיימים 3 גנוטיפים עיקריים והם 23\_A1, us7-like ו- 13\_A2. תרשים 11 מראה כי לכל גנוטיפ יש תת טיפוסים המופעים כזרועות קטנות בכל ענף

עיקרי התוצאות הנ"ל הועלו לאתר Euroblight. בטבלה 1 מוצגת דוגמה לפרופיל גנטי אפשרי לכל אחד משלושת הגנוטיפים העיקריים הנפוצים בישראל.

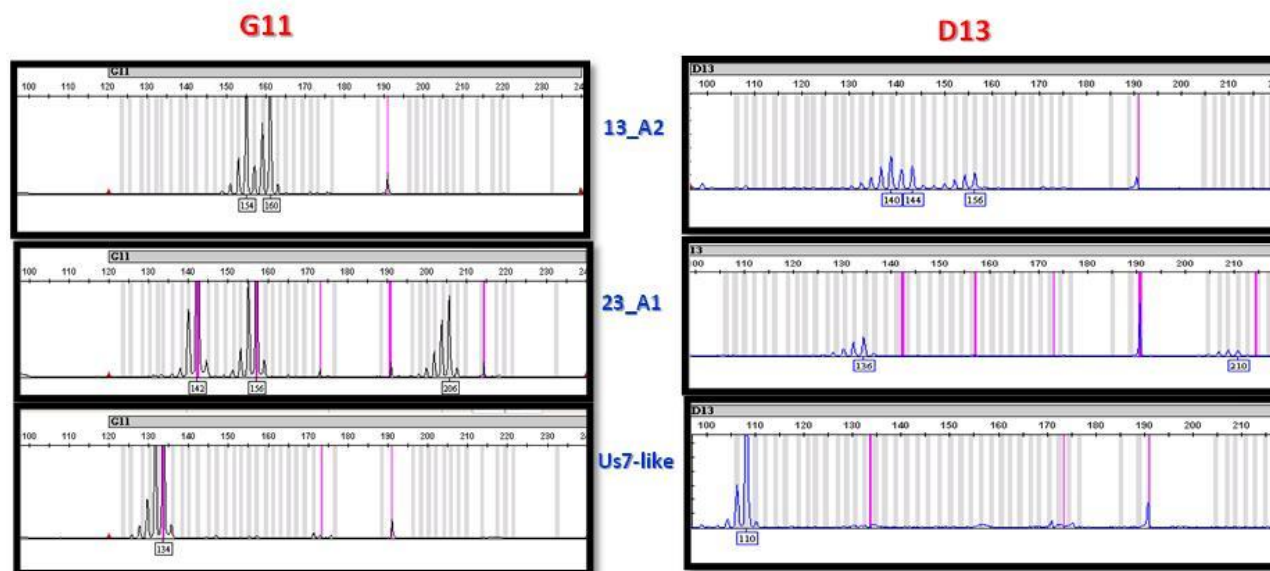


איור מספר 11. שלושת הגנוטיפים העיקריים של *P. infestans* בישראל

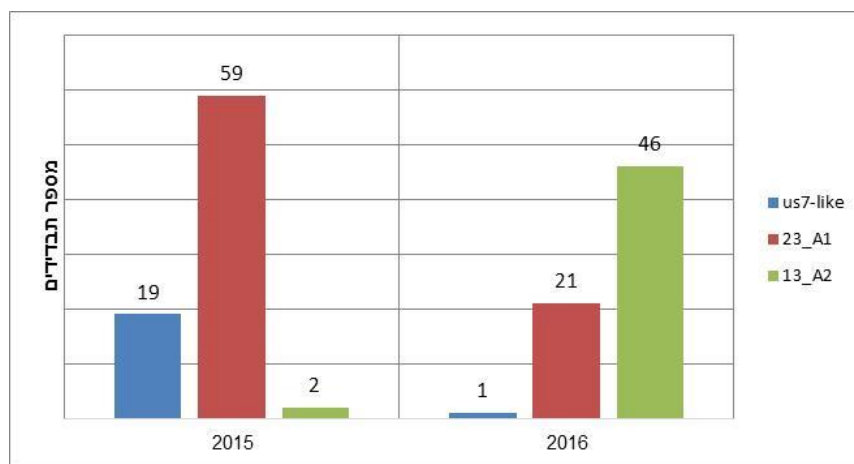
טבלה מספר 1. דוגמה לפרופיל גנטי אפשרי לכל אחד משלושת הגנוטיפים העיקריים הנפוצים בישראל ע"י כל אחד משניים עשר ה-SSR.

גנוטיפ	D13	SSR8	SSR4	G11	SSR3_PI02	SSR11	PI04	PI70	SSR6	PI63	SSR2	PI4B
13_A2	140	260	284	154	264	341	166	192	240	273	173	205
	144	266	294	160	266		170		244	279		213
	156				268							
23_A1	136	260	288	142	266	331	170	192	244	270	173	213
	210	266	294	156	268	341				279	175	217
				206	270							
US7-like	110	260	284	134	266	331	166	192	244	279	173	213
		264	302		268	341	170					217
		266										

איור מספר 12 מראה תוצאות SSR עם שני סמנים פולימורפים של שלושה תבדידים לדוגמה. תבדיד אחד השייך לגנוטיפ 13\_A2, השני ל- 23\_A1 והשלישי ל- us7-like. התוצאות הגנוטיפיות של 148 תבדידים מהשנים 2015-2016 מובאות באיור מספר 13. 80 תבדידים השתייכו לגנוטיפ 23\_A1, 47 השתייכו לגנוטיפ 13\_A2 ו- 21 השתייכו לגנוטיפ us7-like. בשנת 2015 שלטו באוכלוסייה תבדידי 23\_A1 בעוד שב 2016 שלטו תבדידי 13\_A2.

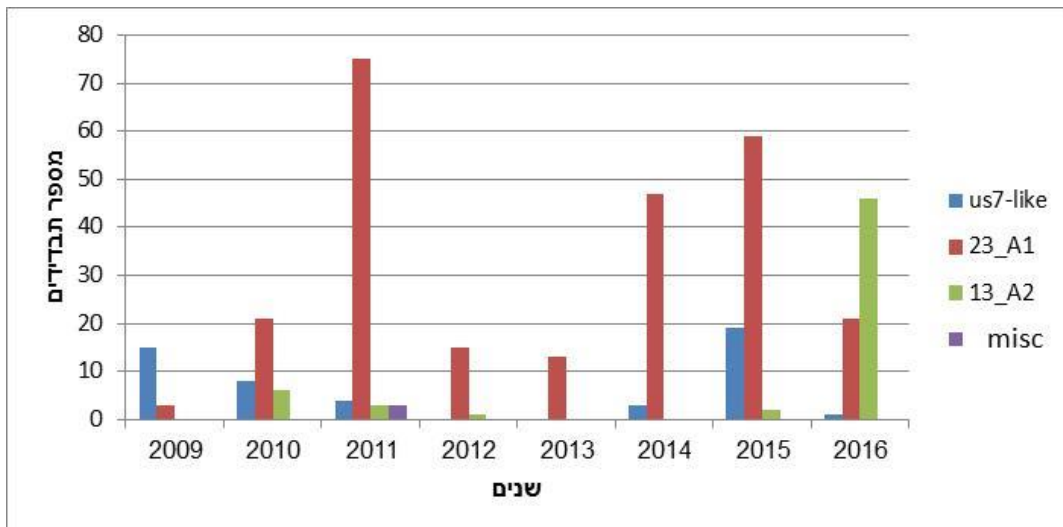


**איור מספר 12.** דוגמה לפרופיל גנטי הנוצר ע"י שני סמני ה SSR הפולימורפים בכל אחד משלושת הגנוטיפים העיקריים בישראל

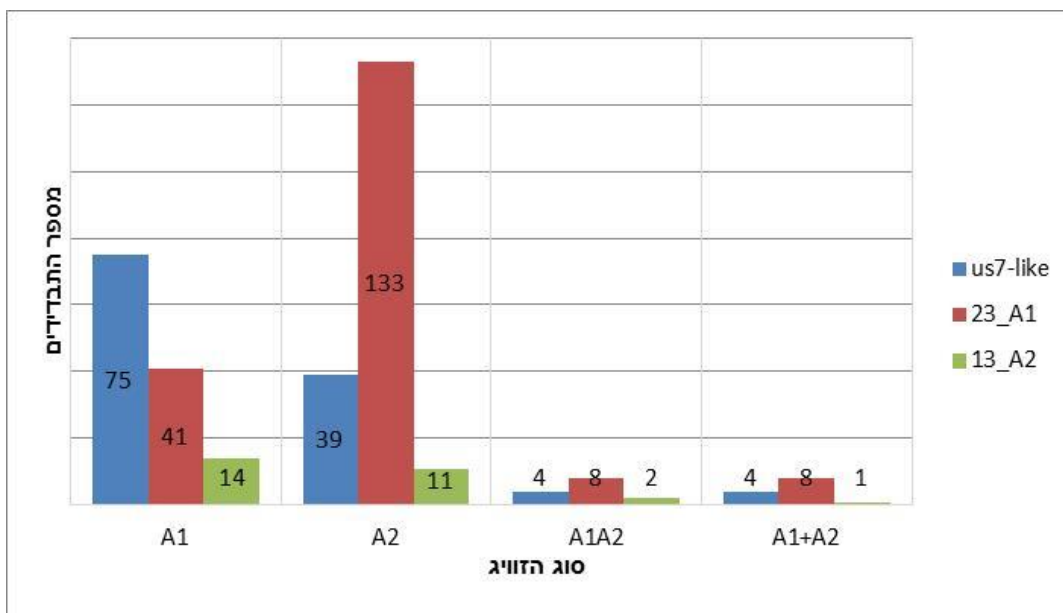


**איור מספר 13.** התפלגות התבדידים בין השנים 2015-2016 לשלושת הגנוטיפים הנפוצים בישראל.

כמוצג באיור מספר 14, בשנת 2009 היו בישראל שני גנוטיפים (us7-like ו- 23\_A1). בשנת 2010 הופיע לראשונה הגנוטיפ 13\_A2 והיה נוכח עד שנת 2012 אך ברמה קטנה משל הגנוטיפ 23\_A1 השכיח בשנים 2010-2015. בשנת 2011 הופיעו שלושה תבדידים אשר נקראו misc (=miscellaneous) שלא היה ניתן לקבוע חד משמעית את הגנוטיפ שלהם. בשנים 2011-2014 רוב האוכלוסייה הייתה מגנוטיפ 23\_A1. בשנת 2016, הגנוטיפ 13\_A2 הפך להיות הגנוטיפ השכיח. התוצאות המוצגות באיור מספר 15 מראות שאין קשר בין הגנוטיפ לבין הזוויגיות. בכל אחד משלושת הגנוטיפים מופיעות כל צורות הזוויג.

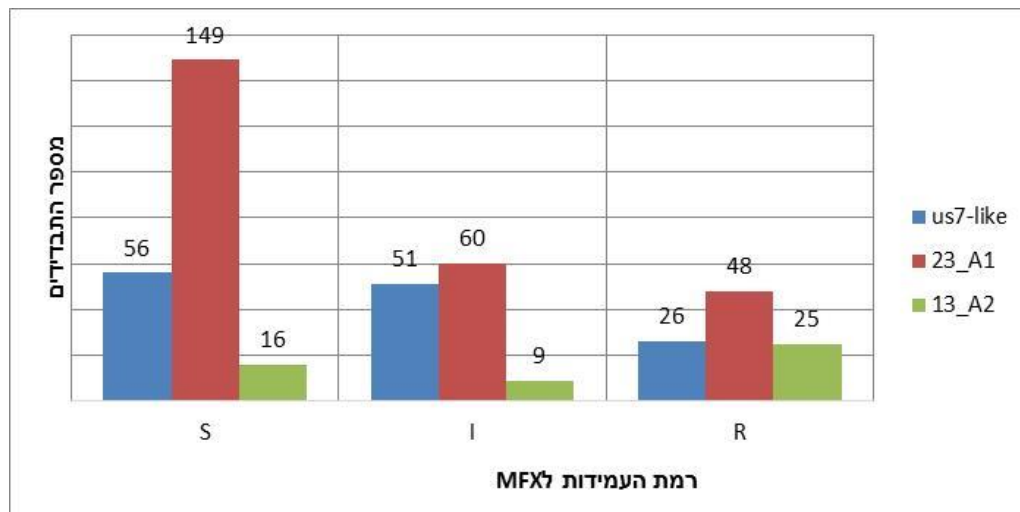


איור מספר 14. התפלגות הגנוטיפים העיקריים בישראל בין השנים 2009-2016.

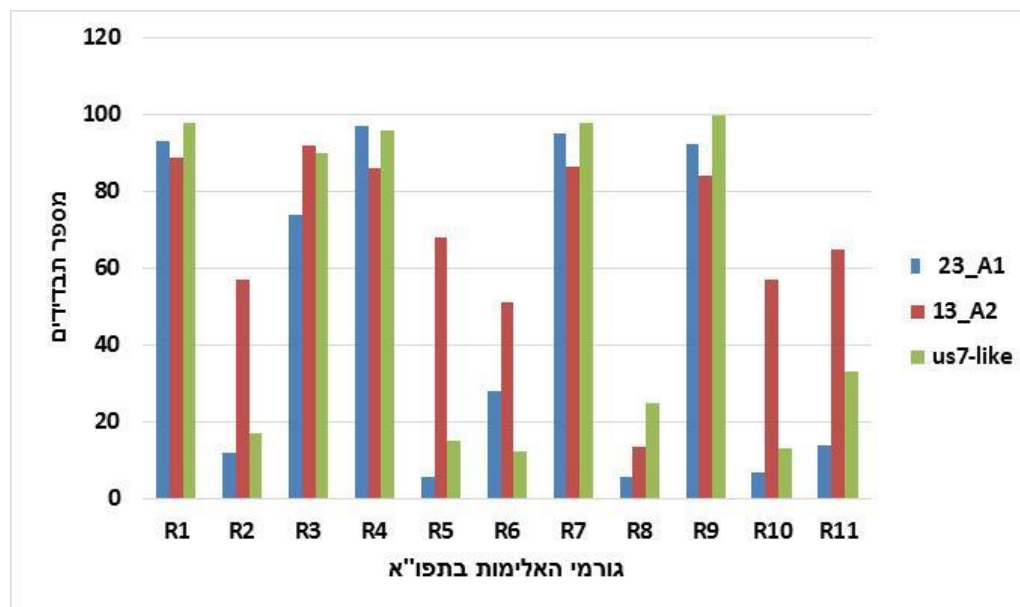


איור מספר 15. התפלגות הגנוטיפים העיקריים בישראל בין השנים 2009-2016.

איור מספר 16 מראה שאין קשר בין סוג הגנוטיפ לבין רמת העמידות של התבדיר ל - MFX, שכן בכל אחד מרמות העמידות ל - MFX (תבדירים עמידים, בעלי עמידות ביניים ורגישים) מופיעים שלושת הגנוטיפים הנפוצים בישראל. ומהתוצאות המוצגות באיור מספר 17 נראה שאין קשר בין גורמי האלימות לתפוצה לבין סוג הגנוטיפ, שכן בכל אחד מ-11 גורמי האלימות לתפוצה הופיעו שלושת הגנוטיפים הנפוצים בישראל.



איור מספר 16. הקשר בין סוג הגנוטיפ (us7-like, 23\_A1, 13\_A2) לבין רמת העמידות ל- MFX בתבדילים הישראליים.



איור מספר 17. הקשר בין אחד עשר גורמי האלימות לתפוז"א לבין שלושת הגנוטיפים הנפוצים בישראל

## 5. הבעת תודה

תודתנו העמוקה נתונה ל- אורי זיג, ליאור בלנק ודני שטינברג שאספו למעננו תבדילים של כימשון. לפרופ' דיויד קוק שאפשר בדיקות גנוטיפיות במעבדתו בסקוטלנד.

## 6. רשימת ספרות מצוטטת

1. Black, W. and Malcolmson, J.F .1965. New races of *Phthophthora infestans* (Mont De Bary) and their complementary R-genes from *Solanum demeissum* Lindl. Am. Potato J. 42, 256.

## פרק 7. הטרוגניות מרחבית של מחלת הכימשון בחלקה

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן פיזור מרחבי

ע"י

דני שטיינברג וליאור בלנק

המחלקה לפתולוגיה של צמחים ומדע העשבים, מרכז וולקני, ראשון לציון

### 1. תקציר

מחלת הכימשון, הנגרמת על ידי האאומיצט *Phytophthora infestans*, היא אחת מהמחלות החשובות בתפוחי אדמה ובעגבניות בארץ ובעולם. קיים מידע רב לגבי השינויים באוכלוסיות *P. infestans* עם הזמן, אבל אין מידע לגבי השינויים המתקיימים בתוך חלקה. בעבודה זו אנו מתמקדים בפיזור המרחבי של כימשון ברמת החלקה.

### 2. מבוא

התפשטות פתוגנים מערכות חקלאיות בזמן ומרחב היא תהליך מורכב ודינמי. אופיים הדינמי מרחבית של תהליכים אפידמיולוגיים מציב אתגר ייחודי למחקר ולהתמודדות עם הפתוגן, היות ובמערכות אלה מתקיימות אינטראקציות מגוונות (שלא כולן ידועות) ומעורבים בהן משתנים סביבתיים רבים, שהשפעות שלהם אינן בהכרח לינאריות (Metz et al. 2012). יתר על כן, האופי ההטרוגני של המשתנים הביולוגיים והאביוטיים המניעים את הדינמיקה של הפגעים קשה למדידה ולכימות וכוללת מגוון של סקאלות מרחביות (Thébaud et al. 2006; Haverkort et al. 2009; Levin 1992).

בעבודה זו, אנו מתמקדים בפיזור בזמן ובמרחב של *P. infestans* ברמת החלקה. לשם כך אופיינה התגובה של כל התבדידים לתכשיר ההדברה מפנוקסס (רגיש, עמיד או תגובת ביניים) ופרופיל הוירולנטיות שלהם (איזה גנים לעמידות כל אחד מהתבדידים מסוגל לתקוף). מטרת המחקר הנוכחי היא לזהות ולכמת את הדפוס המרחבי של *P. infestans* בקנה מידה של החלקה.

### 3. תיאור הניסויים שבוצעו

#### 3.1 דיגום

הנתונים נאספו בחלקה אורגנית מסחרית של קיבוץ נירים במרץ 2016 בה לא נעשה שימוש בתכשירי הדברה ייעודיים להדברת הגזעים העמידים. בוצעו ארבעה חתכים לאורך החלקה ונדגמו עלים נגועים כל 12 מטרים (אם נמצאו בנקודה צמחים נגועים בכימשון). הדוגמאות נשלחו למעבדתו של פרופ' יגאל כהן לשם בחינת פרופיל הוירולנטיות והרגישות למפנוקסס.



## 3.2 אפיון פרופיל וירולנטיות ורגישות למפנוקסם

### 3.2.1 מבחן לרגישות ל - MFX

עלי עגבנייה רגישים לכימשון (*ZH*) נותקו והונחו בצלחות פטרי ע"ג נייר סינון לח כשצידם התחתון כלפי מטה. כל מבחן כלל 5 צלחות כשבכל אחת שני עלים. העלים רוססו ב - MFX בריכוזים הבאים 0 (ביקורת מים), 0.1, 10, 1, 100 ח"מ של חומר פעיל. נבגים של *P. infestans* הורדו מעלים נגועים של תפוז"א או עגבנייה שהתקבלו מהשדה אל תוך מים מזוקקים קרים. הנבגים שימשו לאילוח עלי עגבנייה המטופלים ב - MFX, 6, טיפות של 10 מיקרוליטר לכל עלה. הצלחות הודגרו בתא ערפל ב18 מעלות במשך לילה ואחר כך ב20 מעלות תחת פוטופריודה של 12 שעות. כעבור 5 ימים נקראה עוצמת הספורולציה של מחולל הכימשון ע"ג העלים הנגועים.

האפיון לעמידות נעשה כלהלן:

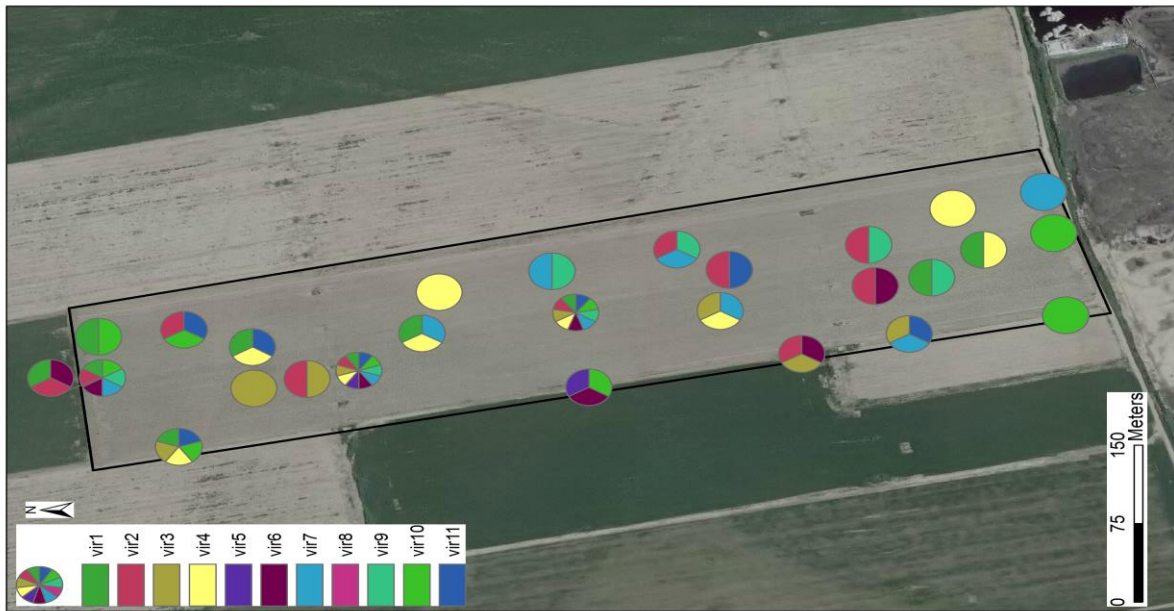
- תבדיד שהנביג על כל סדרת העלים נחשב עמיד ל - MFX.
- תבדיד שהנביג על 0,0.1,1,10 ח"מ נחשב לבעל עמידות ביניים.
- תבדיד שהנביג על 0,0.1,1 ח"מ נחשב לרגיש ל - MFX.
- תבדיד שהנביג על 0,0.1 ח"מ נחשב לרגיש במיוחד ל - MFX.

### 3.2.2 מבחן לגורמי אלימות

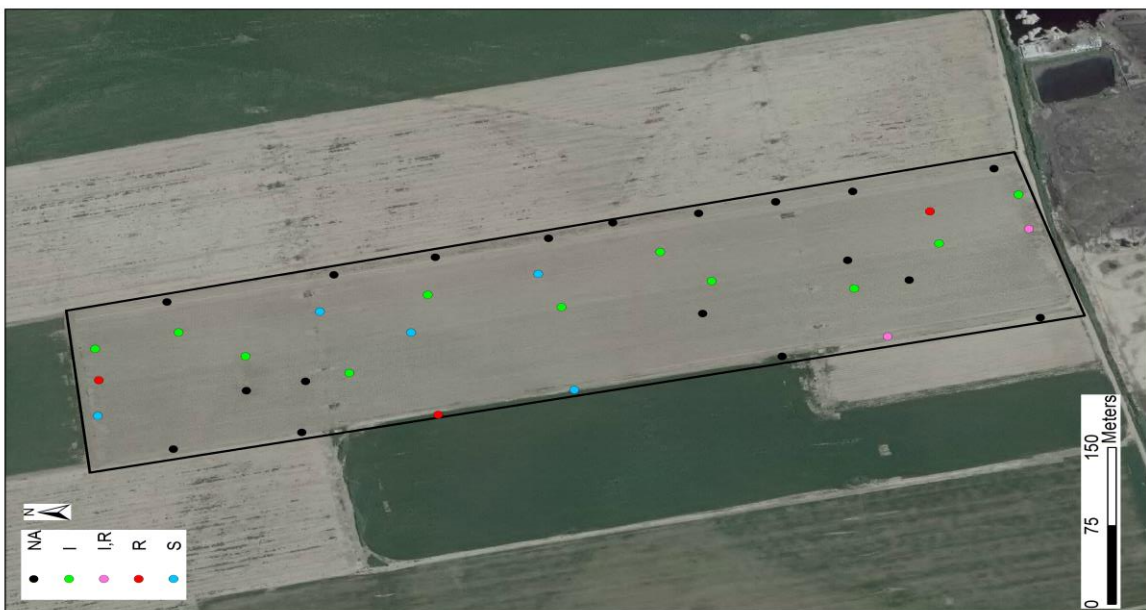
סדרה של 11 זנים תפוז"א דיפרנציאליים (סדרת Black) (Black and Malcolmson 1965). שכל אחד מהם נושא גן אחר לעמידות כנגד כימשון שימשה לקביעת גורמי האלימות (*Race structure*) של כל אחד מתבדידי השדה שהגיעו למעבדה. הזנים הדיפרנציאליים גודלו בעציצים והורבו מתרביות רקמה שהגיעו במקור מחברת Syngenta בשוויץ. הצמחים גודלו בעציצים בחממה. עלה אחד מכל זן נותק והונח במגשית 20X20 ס"מ ע"ג נייר סינון לח כשצידו התחתון כלפי מעלה. העלה השניים עשר היה עלה של *ZH*. העלים אולחו בתרחיף של תבדידי השדה, סט עלים דיפרנציאליים אחד לכל תבדיד שדה. העלים הודגרו כמו במבחן הקודם וכעבור שבוע נבחנה הספורולציה של הפתוגן ע"ג העלים. ה - *Race structure* נקבע ע"פ הגנים לעמידות שעליהם הצליח התבדיד להתגבר. דהיינו להנביג. כך למשל תבדיד שהנביג ע"ג זנים הנושאים את הגנים לעמידות 1,3,4,7,9 נחשב לתבדיד הנושא את גורמי האלימות 1,3,4,7,9.

## 4. תוצאות

נדגמו סך הכל 40 דגימות. עבור 27 דגימות קיבלנו פרופיל וירולנטיות ועבור 22 דגימות קיבלנו פרופיל עמידות למפנוקסם. החלקה הטרוגנית מבחינת פרופיל הוירולנטיות והעמידות לכימשון (איורים מספר 1 ו-2). מבחינת העמידות לכימשון: 11 דגימות הוגדרו כבעלי עמידות ביניים, 2 דגימות סווגו כרגישות, 3 דוגמאות נמצאו כעמידות ו-5 סווגו כרגישות במיוחד. מבחינת פרופיל הוירולנטיות, מלבד זן 8, כל 10 הזנים האחרים נמצאו בחלקה.



איור מספר 1. פרופיל הוירולנטיות של הדגימות בחלקה.



איור מספר 2. תגובה של הדגימות בחלקה למפנוקסם.

## 5. דיון

בשנה המיזם הראשונה נדגמה חלקה אחת בצורה אינטנסיבית. מאיפיון הדגימות מתברר שקיימת הטרוגניות רבה בפרופיל הוירולנטיות וברגישות למפנוקסם בחלקה. דבר זה עשוי להיות בעייתי עבור קבלת החלטות בנוגע להדברת המחלה. אנו מתכננים לחזור על הדיגום בעונה 2016-17 אך עד כה (פברואר 2017) לא זוהה כימשון בחלקות.

## 6. הבעת תודה

אנו מודים ליח"מ על שיתוף הפעולה.

## 7. רשימת ספרות מצוטטת

- Black, W., and Malcolmson, J. F. 1965. New races of *Phytophthora infestans* (Mont De Bary) and their complementary R-genes from *Solanum demissum* Lindl. *Am. Potato J.* 42:256.
- Haverkort, A. J., Struik, P. C., Visser, R. G. F., and Jacobsen, E. 2009. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *Potato Res.* 52:249–264.
- Levin, S. A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology* 73:1943–1967.
- Thébaud, G., Sauvion, N., Chadøeuf, J., Dufils, A., and Labonne, G. 2006. Identifying risk factors for European stone fruit yellows from a survey. *Phytopathology.* 96:890–899.

## פרק 8. פיתוח מודל לתיאור הדינמיקה של מחלת הכימשון בזמן ובמרחב בסקלה אזורית

דו"ח לשנת המחקר הראשונה

של מיזם חוס"ן פיזור מרחבי

ע"י

בנג'י פירסטר, ליאור בלנק ודני שטיינברג

המחלקה לפתולוגיה של צמחים ומדע העשבים, מרכז וולקני, ראשון לציון

### 1. תקציר

מחלת הכימשון, הנגרמת על ידי האאומיצט *Phytophthora infestans*, היא אחת מהמחלות החשובות בתפוחי אדמה ובעגבניות בארץ ובעולם. נכון להיום, אין נתונים כמותיים בספרות על ההתקדמות והדינמיקה של המחלה בסקלה אזורית. בהעדר ידע זה, מגדלים מיישמים פונגצידים בשדות תפוחי אדמה כאמצעי זהירות כנגד כימשון, ללא תלות במידת הסיכון. בעבודה זו פיתחנו מודל מתמטי להתפשטות כימשון בקנה מידה אזורי תוך שימוש בנתונים אמפיריים. המודל שימש ליצירת מפות סיכון המכמתות את הסתברות ההדבקה העתידית באזור. מפות סיכון אלו יכולות לעזור למגדלים לייעל את ההתמודדות עם כימשון ואת השימוש בפונגצידים. בנוסף, המודל יכול לשמש בכדי לעקוב אחרי ההתפשטות של זנים מסוימים של הפתוגן אשר עלולים להיות בעלי רמות שונות של אגרסיביות או בעלי עמידויות לפונגצידים שונים. עבודה זו מציעה גישה חדשנית שנועדה לעקוב אחר התפשטות מחלות בזמן ובמרחב. בנוסף, גישה זו תאפשר להתחקות אחר מאפיינים שונים הקשורים להפצת מחלות.

### 2. מבוא

התפשטות פתוגנים מערכות חקלאיות בזמן ומרחב היא תהליך מורכב ודינמי. אופיים הדינמי מרחבית של תהליכים אפידמיולוגיים מציב אתגר ייחודי למחקר ולהתמודדות עם הפתוגן, היות ובמערכות אלה מתקיימות אינטראקציות מגוונות (שלא כולן ידועות) ומעורבים בהן משתנים סביבתיים רבים, שהשפעות שלהם אינן בהכרח לינאריות (Metz et al. 2012). יתר על כן, האופי ההטרוגני של המשתנים הביולוגיים והאביוטיים המניעים את הדינמיקה של הפגעים קשה למדידה ולכימות וכוללת מגוון של סקאלות מרחביות (Levin 1992; Thébaud et al. 2006). כתוצאה מכך, עד כה, היו יחסית מעט ניסיונות לבחון את הדינמיקה במרחב ובזמן של פתוגנים בקנה מידה אזורי.

בעבודה זו, אנו מתמקדים בגורמים המשפיעים על הדינמיקה בזמן ובמרחב של *P. infestans* המחולל את מחלת הכימשון בתפוחי אדמה ובעגבניות. הכימשון הוא עדיין מחלה משמעותית הגורמת לנזקים גדולים ליבולים של תפוח-אדמה ובעגבניות מדי שנה ברחבי העולם (Small, Joseph, and Fry 2015; Haverkort et al. 2009).

אירועי הפצה בקנה מידה אזורי חשובים עבור הבנת הדינמיקה בקנה מידה גדול של פגעים (Brown and Hovmøller 2002). עבור *P. infestans*, הנבגה מתרחשת כאשר רקמות צמח נגועות נחשפות לתנאי לחות גבוהה ( $RH > 90\%$ ) במשך כ- 10 שעות בטמפרטורות מתונות (20-10 מעלות צלזיוס). כאשר הלחות יורדת, המנבגים משתחררים ממקומם ויכול להתפזר בדרכים שונות למגוון מרחקים (Fry et al. 2013) ובכלל זה הם יכולים להיות מופצים למרחקים גדולים באמצעות הרוח (Skelsey et al. 2009). המנבגים יכולים לשרוד ברוח כל עוד הטמפרטורה וקרירת השמש אינן גבוהות מדי (Fry et al. 2013).

מנבגים המופצים ברוח הוא תהליך שקשה לחקור ולכמת. נכון להיום, אין נתונים כמותיים בספרות על הסתברות הפצה והמרחק המקסימאלי שמנבגי *P. infestans* יכולים להתפשט באמצעות הרוח. הדבר אינו מפתיע בהתחשב בקשיים הברורים בעריכת ניסויים בקנה מידה גדולה עם מחלה זו. תצפיות מפורטות לכימות הדינמיקה הכללית של התקדמות המחלה לא נערכו, וכפי שידועים לנו, לא בוצעו מחקרים אשר כמתו את הפצה של מנבגי *P. infestans* בקנה מידה אזורי.

החשיבות של חיזוי ההתפשטות של כימיון מוכר בספרות ככלי חשוב במניעת כימיון ויכול לעזור בצמצום השימוש בפונגיצידיים (Fry 2016). כדי לייעל את ההתמודדות עם כימיון פותחו מערכות תומכות החלטה (DSS) (Small, Joseph, and Fry 2015; Fry 2016; Andrade-Piedra et al. 2005). כלים אלה מסייעים לחקלאים להבין את מידת הסיכון, אך כלים אלו מוגבלים ואינם מתייחסים לנוכחות כימיון במרחב.

מטרת המחקר הנוכחי הייתה לפתח מודל מרחבי דינמי עבור *P. infestans* בקנה מידה אזורי. המודל פותח תוך שימוש בנתוני ניטור של המחלה באזור מערב הנגב בישראל. המודל אומת באמצעות סט נתונים עצמאי שנאסף באזור בעונות אחרות. המודל שימש ליצירת מפות סיכון המכמתות את הסתברות ההדבקה העתידית באזור. מפות סיכון אלו יכולות לעזור למגדלים לייעל את ההתמודדות עם כימיון ואת השימוש בפונגיצידיים. בנוסף, המודל יכול לשמש בכדי לעקוב אחרי ההתפשטות של זנים מסוימים של הפתוגן אשר עלולים להיות בעלי רמות שונות של אגרסיביות או בעלי עמידויות לפונגיצידיים שונים.

### 3. תיאור הניסויים שבוצעו

#### 3.1 פיתוח המודל

הנתונים ששימשו במחקר זה לבנות ולאמת את המודל נאספו מחלקות מסחריות באזור מערב הנגב בישראל. גודלו של האזור הוא כ-  $20 \times 35$  ק"מ (~500 קמ"ר). באזור זה מספר רב של שדות תפוחי אדמה לצד גידולי שדה אחרים. האקלים של האזור הוא צחיח למחצה, והמשקעים השנתיים הממוצעים הם 250 מ"מ. בעונה מבוצע ניטור אינטנסיבי וכל חלקה נבדקת פעמיים בשבוע לתסמינים של כימיון.

הנתונים ששימשו לבניית המודל נאספו בין החודשים אוקטובר ומרץ בשנים 2004/5. הנתונים בהם השתמשנו כדי לאמת את המודל נאספו בין החודשים אוקטובר ומרץ בשנים 2007/8, 2014-5 ו- 2015/6. המודל מבוסס על הנתונים הבאים: התאריך שבו זוהו לראשונה תסמיני כימיון בכל חלקה, המיקום של השדה, ונתוני מזג האוויר (טמפרטורה, לחות יחסית, וכיוון רוח) שנאספו במרווחים של 10 דקות בתחנה הממוקמת בתוך האזור על ידי השירות המטאורולוגי.

בעזרת נתונים אלה, חישבנו שתי פונקציות הסתברות נפרדות כדי להעריך את ההסתברויות של הדבקה שדה על ידי שדות שכבת נגועים בכימיון. פונקציית הסתברות אחת מבוססת על המרחקים בין השדות, והשנייה מבוססת על הזווית בין הווקטור משדה נגוע וווקטור הרוח. פונקציית הסתברות אלה שמשו: (א) ליצור מודל מרחבי המזהה את כיוון ההדבקה של הפתוגן, וכן (ii) ליצור מפות סיכון המנבאות את ההסתברות שאזורים לא נגועים במרחב יודבקו על ידי מערך שדות נגועים.

#### 3.1.1 חישוב פונקציית המרחק

השתמשנו בנתוני 2005-6 כדי לחשב את ההסתברות של הפתוגן להתפשט במרחב כפונקציה של המרחק משדות נגועים. בשבוע הראשון של דצמבר 2005 (המכונה להלן "שבוע 1"), המחלה זוהתה לראשונה בשלושה מקומות סמוכים. בשבוע הבא (המכונה להלן "שבוע 2"), המחלה התפשטה ל-10 שדות בכיוונים דומים. בהתבסס על כיוון הרוח, זה היה סביר מאוד כי 10 מיקומים נגועים אלה מקורם באחד משלושה המקומות

החולים בשבוע הקודם. יצרנו מעגלים קונצנטריים סביב שלושת השדות הנגועים בשבוע הראשון עם במרווחי רדיוס של 1,000 מטרים. ההסתברות של הדבקה במרחק נתון מנקודת המוצא לאחר שבוע הוא פרופורציונלי לחלק היחסי של שדות תפוחי האדמה במרחק שהודבקו בשבוע השני. הסתברויות אלו השתנו ביחס הפוך עם המרחק (איור מספר 1A).

### 3.1.2 חישוב פונקציית ההסתברות הזווית

אותם נתונים נותחו גם לכימות ההשפעה של הזווית מוקטור הרוח. לשם כך, בנינו אלגוריתם שעובר על נתוני האקלים ומזהה את התנאים המתאימים להנבחה: תנאים לחות של 90% ומעלה למשך 10 שעות בטמפרטורה שגבוהה מ 10 מעלות צלסיוס. כדי שהמנבגים יתייבשו הטמפרטורה צריכה לעלות אך עד סף מסוים של קרינה שעשוי לפגוע במנבגים. תנאי לחות דומים צריך גם כדי להדביק צמחים בשדה היעד. תנאים אלו צרכים להתקיים 5-8 ימים לפני התצפית של תסמיני המחלה. תנאים אלו זוהו על ידי האלגוריתם והגדירו את מסגרת הזמן הרלוונטית להפצה. כיוון הרוח במסגרת הזמן הזו זוהתה כווקטור ההפצה.

לכל אחד מעשרת אירועי ההדבקה בשבוע השני חושב הזווית מוקטור ההפצה שזוהה. ההסתברות של הדבקה מנקודת המוצא הוא פרופורציונלי לחלק היחסי של השדות בחלק שנתחם על ידי זווית זו. יש לציין שההסתברות היא יחסית ואינה מוחלטת ומשמשת לבחינת סבירות ההדבקה בל כל מיקומי השדות.

לכל שדה חדש שהודבק, המרחק לכל שדה שכבר היה מודבק בשבוע הקודם חושב ונבחנה ההסתברות בהתאם לשתי פונקציות ההסתברות שתוארו. ההנחה היא שכל שדה הודבק ממקור יחיד, כך שנבחרה ההסתברות המחושבת הגבוה ביותר מכל ההסתברויות שמקורן בכלל השדות המודבקים. נבחנו 3 יחסים המתארים אתן התרומה של פונקציית המרחק ופונקציית הכיוון: 1: 1, 6: 1 ו- 10: 1 (איור מספר 3).

### 3.2 בניית מפות הסיכון

מפות הסיכון נוצרו עם נתוני עונת 2014/15. על ידי איחוד מתמטי של כל ההסתברויות עבור כל נקודה במרחב מכל מקורות המדבק האפשריים. לפיכך, מפת הסיכונים מציגה את ההסתברות היחסית של הדבקה עבור כל מיקום במשך שבוע אחד במהלך העונה. ההסתברויות הן יחסיות ותהיינה שונות בכל שבוע, שכן הם תלויים במספר השדות הנגועים.

כדי ליצור את מפת הסיכון, לוקחים בחשבון את המרחק ( $\gamma$ ) והזווית ( $\theta$ ). בהינתן וקטור הרוח הנוכחית ( $\varphi$ ) הנוסחה הבאה יוצר את ההסתברות של ההדבקה עבור כל נקודה במרחב ( $x, y$ ):

$$P(x, y) = \frac{\frac{10^{2.996}}{\sqrt[3]{\gamma^4}} + 6 * \frac{10^{-0.524}}{|\theta - \varphi|^{0.472}}}{7}$$

נוסחה זו מייצגת את הממוצע המשוקלל של הרגרסיות המרחק והזווית מוקטור הרוח, אשר ינועו בטווח שבין 0 ו-1.

#### 3.2.1 אימות המודל

המודל אומת עם נתונים שנאספו בעונות 2006/7, 2014/15 ו- 2015/16. סך הכול נבחנו 10 שבועות. אימות המודל בשיטות מקובלות לא אפשרי בגלל שהיקף המידע מוגבל (מספר קטן יחסית של שדות הודבקו בכל שבוע) ובגלל שהוא מבוסס רק על נתוני נוכחות (presence only). למרות שהמחלה לא נמצא בשדות רבים, אין ודעות שהמחלה לא הייתה נוכחת (false negative).

לשם אימות המודל השתמשנו במיקומי השדות המודבקים ו- 70 אתרים שנבחרו אקראית באזור. בנינו אלגוריתם הבוחן את כל כיווני הרוח האפשריים מ 0 ועד 360 מעלות באינטרוולים של 2 מעלות, ועבור כל כיוון רוח מכל שדה שכבר היה מודבק, חישב את הממוצע של השדות הנגועים והנקודות האקראיות. מכיוון שאין שום דרך לדעת בדיוק היכן לא הייתה מחלה, הנקודות האקראיות מייצגות שדות לא מודבקים. גם אם חלק מהנקודות האקראיות היה בשדה נגוע, עדיין כיוון הרוח הממוצע מייצג שדות לא נגועים. הערכים בכיוון הרוח שהניבו את ההפרש החיובי הגדול ביותר בהסתברות ההדבקה בין כיוון הרוח הממוצע אל השדות הנגועים

בפועל והממוצע למיקומים שנבחרו באקראי ייצגו את כיווני הרוח שרחוקים מאקראי ולכן תומכים במודל. כיווני רוח אלו הושוו לכיווני הרוח שנצפו ביום בו התרחשה הפצה. אם כיוון הרוח החזוי תואם את כיוון הרוח הנצפה, הרי המודל מצליח להבדיל בין שדות נגועים לשדות לא נגועים.

### 3.3 סימולציות של התפשטות גנוטיפים שונים

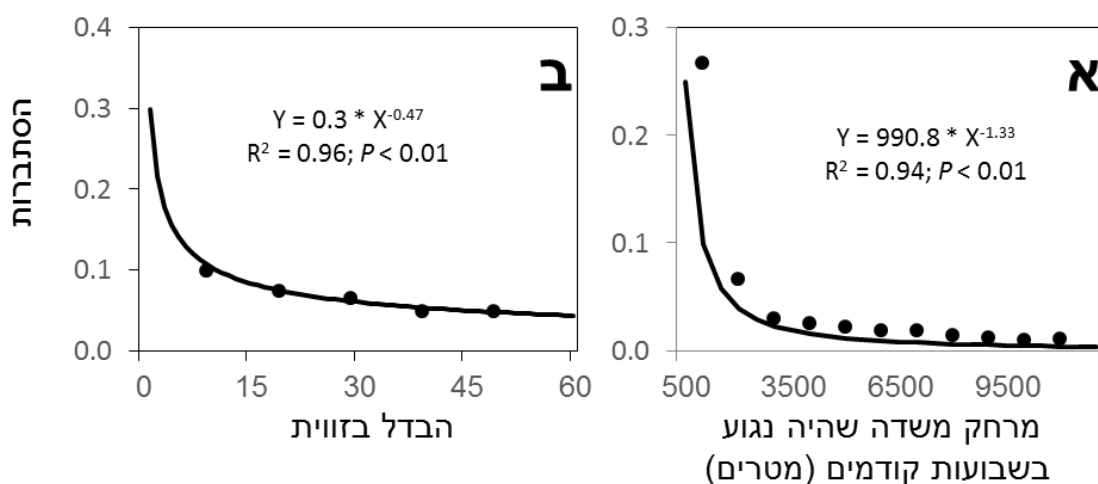
בכדי להדגים את יתרונות המודל, בנינו שתי סימולציות באמצעות המודל- סימולציה של גנוטיפים שעמיד לחומר הדברה (לדוגמא, מפנוקסם) וגנוטיפ בעל אגרסיביות גדולה. לשם כך בחרנו בצורה אקראית שישה מיקומים של שדות נגועים. בשלושה שדות יש פתוגן (G1) wild type (איור מספר 5 א ו- ג), שניים בעלי עמידות לחומר הדברה (G2) (איור מספר 5 א ו- ב) ופתוגן עם אגרסיביות גבוהה (איור מספר 5 ג ו- ד).

## 4. תוצאות

### 4.1 פיתוח המודל

#### 4.1.1 חישוב פונקציות מרחק וזווית מוקטור הרוח

חישבנו את הסתברויות ההפצה במרחקים שונים (איור מספר 1א) ובזוויות שונות מוקטור הרוח (איור מספר 1ב) באמצעות נתוני עונת 2005-6 ונתונים מטאורולוגיים. שתי הפונקציות הן היפרבוליות. הערך הקריטי בו פונקציית המרחק מגיע ל-1 הוא 295 מטרים, פחות מהרדיוס של שדה ממוצע.



**איור מספר 1.** ההסתברות שמחלה בשדה מסוים מקורה בשדה נגוע בשבועות קודמים כפונקציה של: מרחק בין שדות (א) וההבדל בזווית מוקטור הרוח (ב). הנתונים לאנליזה זו מקורם בנתונים מעונת 2004/5.

בנינו שלושה מודלים בכדי למצוא את הפרמטרים המתאימים למודל הסופי (איור מספר 2). היחס בין מרכיב הרוח למרכיב המרחק שנראה המתאים ביותר הוא 6:1 היות והחיבורים בין שדות נגועים לשדות מודבקים הוא הסביר ביותר. לדוגמא, שדה 22 קרוב דומה מאוד לשדה 21 בזווית. היות והם הודבקו באותו זמן והם במקומות די דומים, הגיוני היה ששניהם יודברו על ידי אותו מקור או לפחות ממקורות קרובים. לכן יחס של 3:1 (איור 2א) פחות סביר. באופן דומה, ההדבקה של שדה 7 משדה מקור 3 אינו סביר היות ושדה 5 קרוב יותר וההבדל בזווית הרוח הוא די קטן. לכן יחס 10:1 (איור מספר 2ג) פחות סביר. בעיות אלו אינם מתקיימים ביחס של 6:1 (איור מספר 2ב).

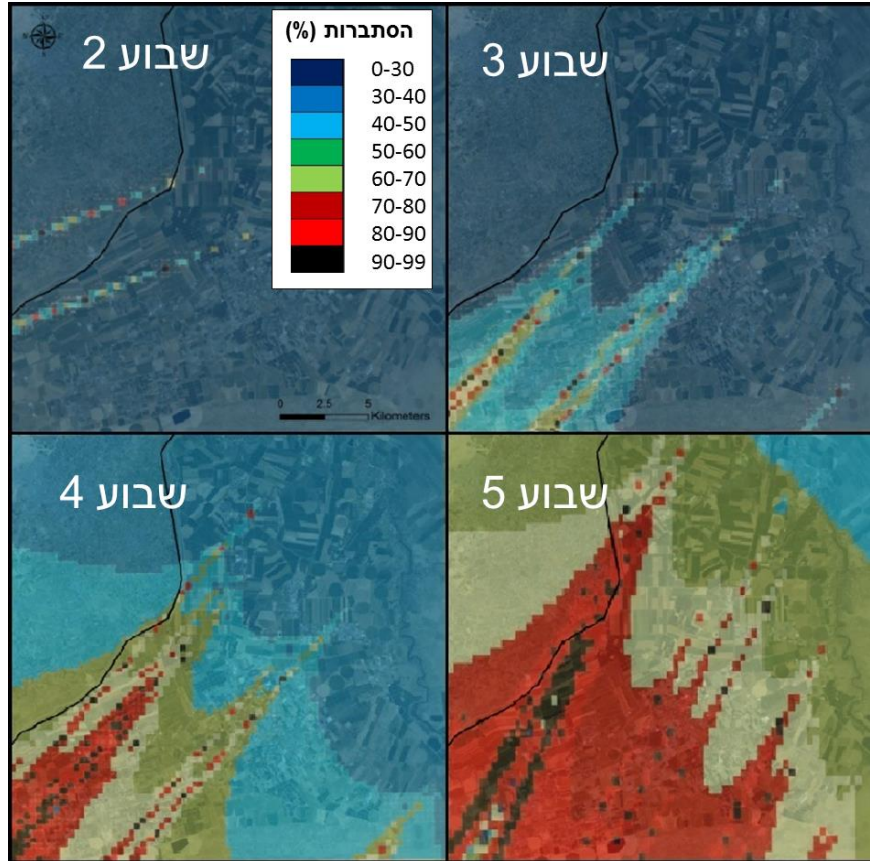


**איור מספר 2.** אימות של המודל באמצעות נתוני 2004-5. מוצגים שלושה מודלים השונים ביחס התרומה של הרוח והמרחק לתחזית המודל- א. 1:1; ב. 6:1 ו- ג. 10:1. העיגולים והמספרים הסמוכים מייצגים את חלקות תפוחי-האדמה המאולחים. זמן ההדבקה מצוין על ידי צבע חצים וגודל העיגול. החצים מציינים איך המחלה התפשטה משדה לשדה, כאשר כל חץ מצוין את המקור עם ההסתברות הגבוהה ביותר להדביק את שדה היעד עלפי המודל. שדות שאין חץ המוביל אליהם, הם או שדות שהודבקו בשבוע הראשון או שנקבע על ידי המודל שהם הודבקו ממקור חיצוני שאינו חלקה מודבקת קודמת שנוטרה במחקר זה.

#### 4.2 מפות סיכון

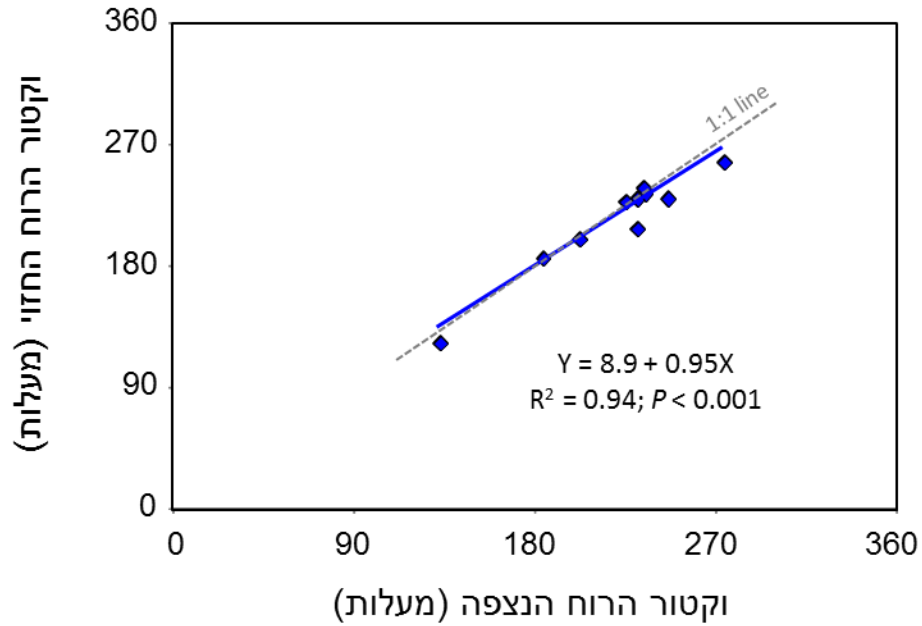
מפות הסיכון מדגימות כיצד המודל הדינמי במרחב ובזמן ישתמש במידע על שדות נגועים ובנתוני מזג האוויר כדי לכמת את הסתברויות היחסיות להדבקה בכלל האזור (איור 3). ביחס לאזור בו נמצאים השדות הנגועים, ההסתברות להדבקה באזורים הדרום מערביים גבוהות יותר. ככל שהעונה מתקדם, שטח האזור, שחזוי להיות בעל הסתברות גבוהה להדבקה, גדל.





**איור מספר 3.** מפות סיכון שנוצרו באמצעות מידע שנאסף ב 2014-15. הצבעים השונים מייצגים את הסתברות ההתפשטות של המחלה מהשדות הנגועים במערב הנגב. כל מפה מייצגת את הסתברות ההפצה בכל שבוע. (א) 1 ועד ל- 6 בנובמבר 2014. כיוון וקטור רוח המצטבר היה  $249^\circ$ ; (ב) 7 ועד ל- 13 בנובמבר 2014. כיוון וקטור רוח המצטבר היה  $226^\circ$ ; (ג) 14 ועד ל- 20 בנובמבר 2014. כיוון וקטור רוח המצטבר היה  $220^\circ$ ; (ד) 21 ועד ל- 26 בנובמבר 2014. כיוון וקטור רוח המצטבר היה  $220^\circ$ .

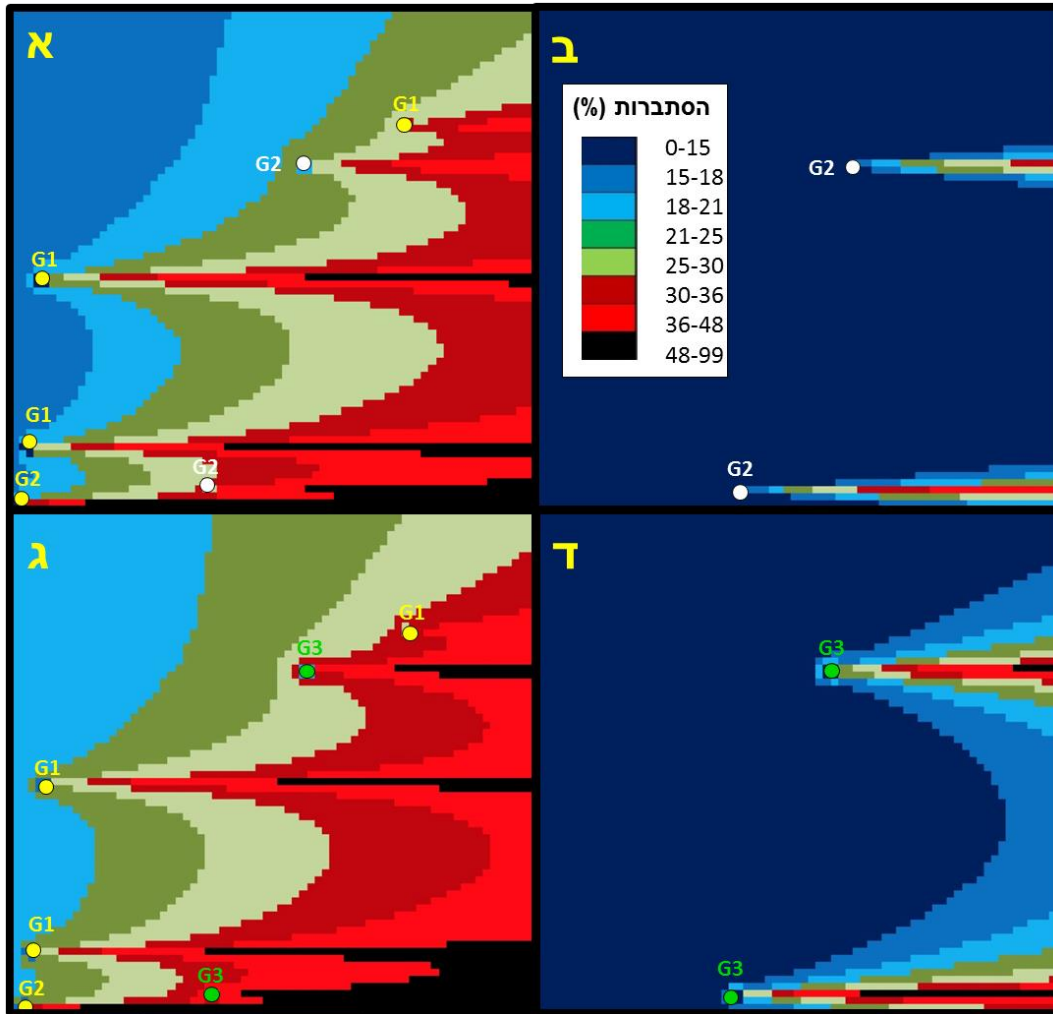
כאשר השווינו את ערכי כיוון הרוח החזוי לערכי כיוון הרוח הנצפה, ההפרש הממוצע היה 7.7 מעלות (שורש ממוצע הריבועים, RMS, שווה ל- 9.66) וההבדל בין הממוצעים עמד על 3.1 מעלות. באיור מספר 4 אפשר לראות את ההשוואה בכיוון הרוח בין חזוי לנצפה ב- 10 שבועות שונים ( $r=0.94$ ;  $p\text{-value}<0.001$ ).



איור 4- אימות של המודל האמצעות נתונים מעונות 2006-7, 2014-2015 ו-2015-16 (שלא שימשו לבניית המודל). נקודות מייצגות כיווני רוח חזויים ונצפים. קו הרגרסיה מציין את הקורלציה בין חזוי למצוי והקו האפור מייצג התאמה מושלמת תאורטית בין שני המשתנים.

#### 4.3 סימולציות של התפשטות גנוטיפים שונים

הסימולציות מראות שהמודל מאפשר לזהות, מיתוך סך כל ההסתברויות שמקורן בכל השדות הנגועים באזור (איור מספר 5א), את ההסתברות להדבקה על ידי שדות נגועים מסוימים (איור מספר 5ב). בנוסף, הסימולציות מדגימות את העליה בהסתברות ההדבקה כאשר יש גנוטיפ אגרסיבי יותר, גם בסך כל ההסתברויות באזור (איור מספר 5ג) וגם כאשר משווים רק שדות מסוימים (איור מספר 5ד).



איור מספר 5. שימושים אפשריים של המודל על ידי יצירת סימולציות של מפות סיכון. בסימולציות אלו כיוון הרוח נקבע ל 90 מעלות (רוח מערבית). העיגולים מייצגים שישה שדות מודבקים שמיקומם נקבע באופן אקראי. G1- פתוגן wild type; G2- פתוגן עם רגישות לפונגיצידי כלשהו, לדוגמא מפנוקסם, אך אם אגרסיביות זהה ל wild type; G3- פתוגן עם אגרסיביות גבוה.

## 5. דיון

בעבודה זו אנחנו מציעים מתודולוגיה חדשה לזהות את מסלול ההפצה של מחלות בזמן ובמרחב ופיתוח מודל דינאמי עבור *P. infestans* בקנה מידה אזורי. בעיה ידוע עם נתוני מחלות רבות היא שבדרך כלל הנתונים מתעדים רק את האתרים בהם המחלה נצפתה (Presence-only), אך לא מאשרים את האתרים בהם לא נצפתה המחלה. מחקרים בתחום חיפשו דרכים להתגבר על מגבלות כאלה (Sutrave et al. 2012). טכניקות אימות מודל רבות בדרך בודקו את המודלים על ידי השוואת ההצלחות והכישלונות של המודל באמצעות סימולציה לעומת נתונים אמת (Rykiel 1996), אבל כאשר נתונים רק נוכחות זמינים, לא ניתן להשתמש בטכניקות אלה. במחקר זה, אנו מציעים שיטה של אימות מודל שיכול להשתמש בנתונים נוכחות בלבד ואינו דורש כמויות גדולות של נתונים, אבל עדיין יכול להעריך ביעילות את המודל.

בשל ההסתמכות רק על נתונים נוכחות, הדרך היחידה לאמת את המודל הייתה תוך בחינת ווקטור הרוח. לעומת בכיוון הרוח הנצפה, המודל היה מסוגל לחזות את כיוון הרוח בסטייה של מעלה בחלק מהשבועות. בנוסף, בתוך כל שבוע של התפשטות, המודל לא רק ניבא בדיוק כמה ימים של התפשטות היו בכל שבוע (מבוסס על מזג אוויר מתאים עבור הפתוגן) אלא גם מצא במדויק את כל הימים בהם התקיימו תנאים מתאימים. זה מראה שהמודל יכול לייצג את המורכבות של התפשטות על ידי הרוח בהצלחה. למרות שהרוח משנה את כיוונה בכל יום, עדיין המודל הצליח לכמת את ההתפשטות בצורה מדויקת.

המתודולוגיה שפותחה בעבודה זו היא ספציפית לכימסון. הקלט הדרוש עבור המידול הוא מינימלי, וכולל את מיקומם של שדות נגועים בעונה והפרופורציה של שדות תפוחי האדמה באזור. לכן, המודל יכול להיות מיושם גם באזורים אחרים תוך שינויים לא רבים.

הערכת הסיכון וחיזוי כימסון יכול להיות כלי רב עוצמה כדי להילחם בכימסון ולעזור למנוע שימוש עודף בפונגיצידיים. בידוד אזורים הנמצאים בסיכון יכול לעזור למגדלי להגן טוב יותר על החלקות שלהם תוך שימוש בטיפול התואם את מידת הסיכון, אבל ללא ספק היכולת של המודל לאתר אזורים הנמצאים בסיכון נמוך הוא חשוב לפחות באותה מידה. בחלקות בעלות סיכון נמוך המגדלים יכולים לרסס פחות פונגיצידיים וכך לחסוך עלויות ומצמצם סיכונים סביבתיים. ידיעת הערכת סיכונים נכונה יכולה לעזור לחקלאים לפקח טובים יותר על החלקות שלהם ולמקד את המשאבים שלהם בתחומי הסיכון הרלבנטיים ביותר.

יתרון נוסף של שימוש במודל שלנו הוא היכולת לעקוב אחרי ההתפשטות של גנוטיפים שונים של הפתוגן. זה יעזור מגדלים לרסס את הפונגיצידיים המתאימים. לדוגמה, ל- *mefenoxam / metalaxyl* יעילות גבוהה מאוד כנגד זנים רגישים של המחלה, אבל הם גם מאוד יקרים. קוטלי פטריות פרוטקטנטיים (כגון *mancozeb* או *chlorothalonil*) הם פחות יעילים אבל זולים יחסית. שימוש בקוטלי פטריות פרוטקטנטיים בזמנים עם סיכון נמוך של התפשטות הפתוגן יש השלכות כלכליות; החלת קוטלי פטריות פרוטקטנטיים באזורים בהם נמצא הפתוגן העמיד עלולה לגרום להפסדים משמעותיים. עם זאת, מגדלים לא תמיד יודעים את הסבירות של התפשטות הפתוגן ואת התגובה של אוכלוסיות הפתוגן לפונגיצידיים שונים. יתכן כי תבדידים עמידים בחלקה יכולים לסכן שדות סמוכים. כמו כן ייתכן ששדות אחרים (אפילו באזורים אחרים) יהיו בסכנה. הבנת ההיבטים במרחב ובזמן של התפשטות זיהום תשפר בחירת חומר ההדברה ויקטין את הסיכונים של מגיפות לא מבוקרות.

## 6. הבעת תודה

אנו מודים לאורי זיג ולמגדלי יח"מ.

## 7. רשימת ספרות מצוטטת

- Andrade-Piedra, J. L., Hijmans, R. J., Juárez, H. S., Forbes, G. A., Shtienberg, D., and Fry, W. E. 2005. Simulation of potato late blight in the Andes. II: Validation of the LATEBLIGHT model. *Phytopathology*. 95:1200–1208.
- Brown, J. K., and Hovmøller, M. S. 2002. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. *Science*. 297:537–541.
- Fry, W. E. 2016. *Phytophthora infestans*: New Tools (and Old Ones) Lead to New Understanding and Precision Management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 54:529–547.
- Fry, W. E., McGrath, M. T., Seaman, A., Zitter, T. A., McLeod, A., Danies, G., et al. 2013. The 2009 late blight pandemic in the eastern United States—causes and results. *Plant Dis.* 97:296–306.

- Haverkort, A. J., Struik, P. C., Visser, R. G. F., and Jacobsen, E. 2009. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *Potato Res.* 52:249–264.
- Levin, S. A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology.* 73:1943–1967.
- Metz, M. R., Frangioso, K. M., Wickland, A. C., Meentemeyer, R. K., and Rizzo, D. M. 2012. An emergent disease causes directional changes in forest species composition in coastal California. *Ecosphere.* 3:1–23.
- Rykiel, E. J. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecol. Model.* 90:229–244.
- Skelsey, P., Kessel, G. J. T., Holtslag, A. A. M., Moene, A. F., and van der Werf, W. 2009. Regional spore dispersal as a factor in disease risk warnings for potato late blight: a proof of concept. *Agric. For. Meteorol.* 149:419–430.
- Small, I. M., Joseph, L., and Fry, W. E. 2015. Development and implementation of the BlightPro decision support system for potato and tomato late blight management. *Comput. Electron. Agric.* 115:57–65.
- Sutrave, S., Scoglio, C., Isard, S. A., Hutchinson, J. S., and Garrett, K. A. 2012. Identifying highly connected counties compensates for resource limitations when evaluating national spread of an invasive pathogen. *PLoS One.* 7:e37793.
- Thébaud, G., Sauvion, N., Chadø euf, J., Dufils, A., and Labonne, G. 2006. Identifying risk factors for European stone fruit yellows from a survey. *Phytopathology.* 96:890–899.