

2 הדינמיקה של התפשטות קימחון הגפן בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית

הלנה קרסנוב^{1,2}, דודו חקוקי¹, יפית כהן², שמוליק עובדיה³ וליאור בלנק¹

¹ המחלקה לפתולוגיה של צמחים ומדע העשבים, מרכז וולקני, ראשון לציון

² הנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון

³ יקבי כרמל

תקציר

אזורים חקלאיים מאופיינים בנוף הטרוגני הכולל בין השאר מגוון של גידולים חקלאיים לצד שטחים טבעיים, מיוערים, בנויים ועוד. לנוף ולסביבה יש השפעה על הדינמיקה של אוכלוסיות ותהליכים אקולוגיים שונים במרחב ובזמן. מחקר בקנה מידה גדול מקבל בשנים האחרונות תשומת לב רבה יותר כחלק מההבנה שהמרחב יכול להשפיע על רמת החלקה הבודדת. שימוש בכלים ממוחשבים בניתוח מרחבי בעזרת מערכות מידע גיאוגרפיות (ממ"ג) (Geographic Information Systems; GIS) להבנה ולכימות של תופעות מרחביות נעשה בשנים האחרונות נפוץ יותר ומאפשר הבנה טובה של תופעות מרחביות שלא התאפשרו באמצעי בקרה וניטור מסורתיים. הבנת ההשפעות של גורמים מרחביים על פגעים שונים בחקלאות יכולה לשפר את ממשק הדברת המזיקים. בפרק זה בחנו את ההשפעות של הנוף והסביבה (לדוגמא- טופוגרפיה, אקלים וקרקע) בסקאלה רחבה על התפוצה של קימחון הגפן (*Uncinula necator*). הפגע נוסר ב- 218 חלקות כרמים מסחריות של גפן היין באזור שפלת יהודה. מצאנו שברמה המקומית הנגיעות של קימחון הגפן תלויה במידה רבה בזן הגפנים, בשטח החלקה ובמספר הריסוסים שיושמו בה. בנוסף, מצאנו שקימחון הגפן מושפע משטחי מטעים נשירים ומקרבה ליישובים. הממצאים של המחקר מאשרים את השפעתם של גורמים מסוימים הן בסקאלה המקומית והן בסקאלה האזורית.

אופן הציטוט: קרסנוב ה', חקוקי ד', כהן י', עובדיה ש' ובלנק ל' (2021) הדינמיקה של התפשטות

קימחון הגפן בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית.

בספר תובנות חדשות במחלות צמחים, בעריכת אלעד י', דומברובסקי א', מנוליס-ששון ש' ועזרא ד',

הוצאת המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים.

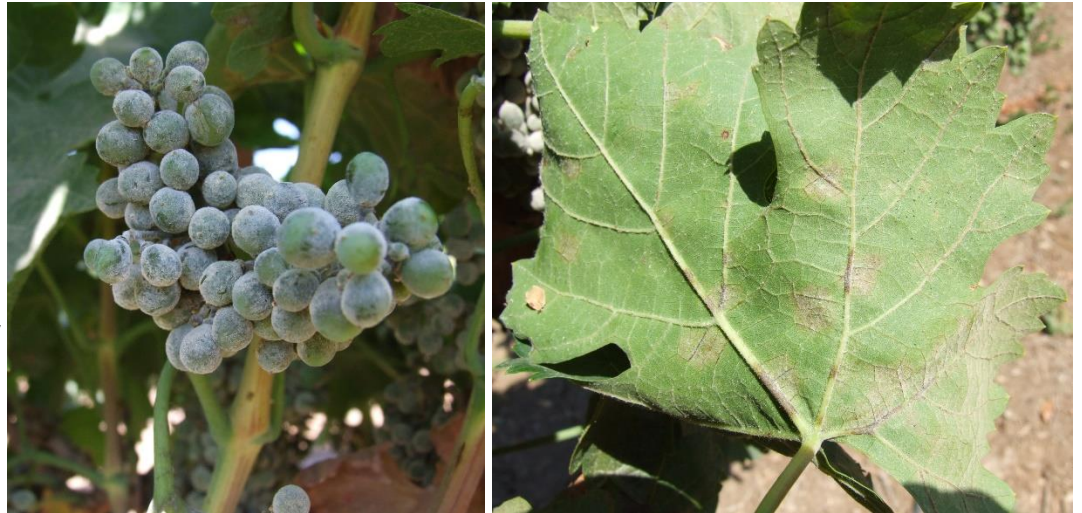
<https://volcaniarchive.agri.gov.il/skn/tu/e51958>



מבוא

מחלת קימחון הגפן (*Uncinula necator*) (איור 1) היא אחת ממחלות העלים והפרי החשובות בכרם בארץ ובעולם (Gadoury et al. 2012). גורם מחלת קימחון הגפן היא פטרייה שהינה טפיל אובליגטורי התוקפת 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

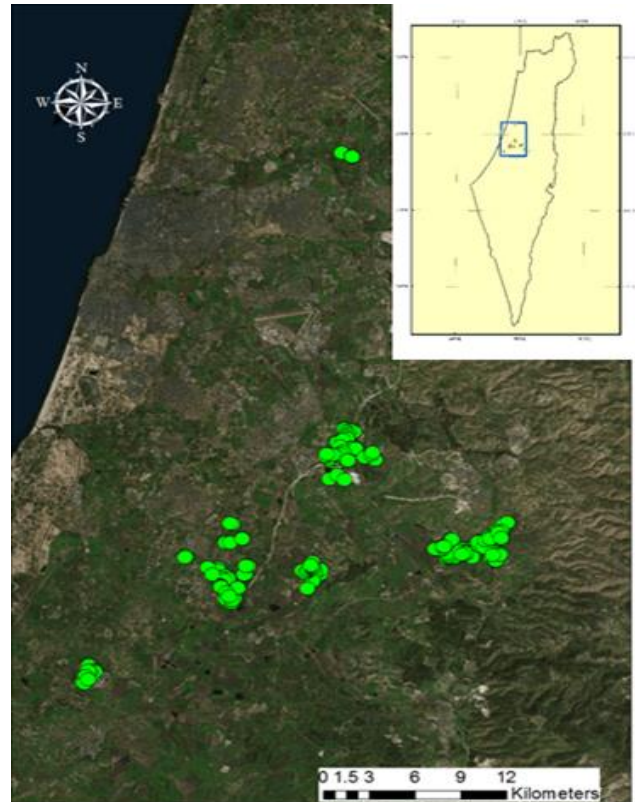
מוחלט של היבול. הפטרייה מופצת על ידי נבגים המופצים על ידי הרוח (Gadoury et al. 2012); עובדיה (2005). מקור הפתוגן בחוף המזרחי של ארה"ב, משם הופץ במאה ה-19 לאירופה ולשאר העולם. במחקר זה אנו בדקנו את השפעת מאפייני החלקות, הנוף והתכסית על קמחון הגפן בחלקות כרמים באזורים שונים בארץ. מחקר זה משפר את ההבנה שלנו על הקשר בין הסביבה של הכרמים ושל השינויים במרחב ובזמן, והשפעתו על האפידמיולוגיה של קימחון הגפן. ככל הידוע לנו מהספרות, לא נערך בארץ מחקר שעסק באפידמיולוגיה המרחבית של פגע זה.



איור 1. תסמיני קימחון הגפן (*Uncinula necator*) בעלה (ימין) ובאשכול (שמאל). תמונות על ידי יגאל אלעד

איסוף הנתונים

שטח המחקר ממוקם בנוף חקלאי מעורב במרכז הארץ (איור 2). השטח מאופיין בשימוש חקלאי מגוון עם התערבות אנושית אינטנסיבית. נעשתה דיגיטציה של 218 חלקות כרמים. הדיגיטציה בוצעה על צילומי אוויר ברזולוציה גבוהה (0.25 מ'). הנתונים עליהם מבוסס המחקר נאספו בשנים 2013, 2014, 2016 ו-2017. לא נכללו נתונים מ-2015 בגלל היותה שנת שמיטה.



איור 2. מיקום אזור המחקר בישראל (ימין למעלה) ומיקום חלקות הכרמים המנוטרות (עיגולים ירוקים)

כימות המשתנים

ניטור קימחון הגפן בכרם

החל מתחילת הבלבול ועד לשלב ראש גפרור (שלב פנולוגי המתאר את תחילת יצירת האשכול) נבדקה שכיחות המחלה בעלים. משלב ראש גפרור ועד לתחילת בוחל (השלב של שינוי צבע הגרגירים) נבדקו האשכולות. בכל חלקה נבחרו ארבע נקודות דגימה בצורה אקראית- בשתי שורות. שתי נקודות דגימה בכל שורה המרוחקות כ- 30 מטר האחת מהשנייה. בכל נקודת דגימה נספרו 50 עלים או אשכולות (תלוי במצב הפנולוגי של הגפן) ברצף. בסיום הספירה של ארבע נקודות הדגימה, חושבה שכיחות העלים/האשכולות הנגועים מתוך 200 שנדגמו.

המשתנה המוסבר

עבור הקימחון, המשתנה המוסבר הוא ערך הנגיעות המקסימאלי שנמצא במהלך כל העונה, כלומר הערך הגבוה ביותר של אשכולות נגועים מתוך ה 200 שנדגמו באופן אקראי (MLI). ערך זה נבחר היות והוא מאפשר השוואה בין חלקות ובין שנים ואינו מושפע מהפנולוגיות השונות של השנים השונות שעשויות להשפיע על ממוצע ו/או סה"כ הנגיעות בעונה בכל חלקה.

משתנים מקומיים

נתונים לגבי זן הגפן, גיל החלקה ומספר ריסוסים התקבלו מבסיס הנתונים של יקבי כרמל (טבלה 1).

טבלה 1. תיאור סטטיסטי של המשתנים המקומיים שנבחנו

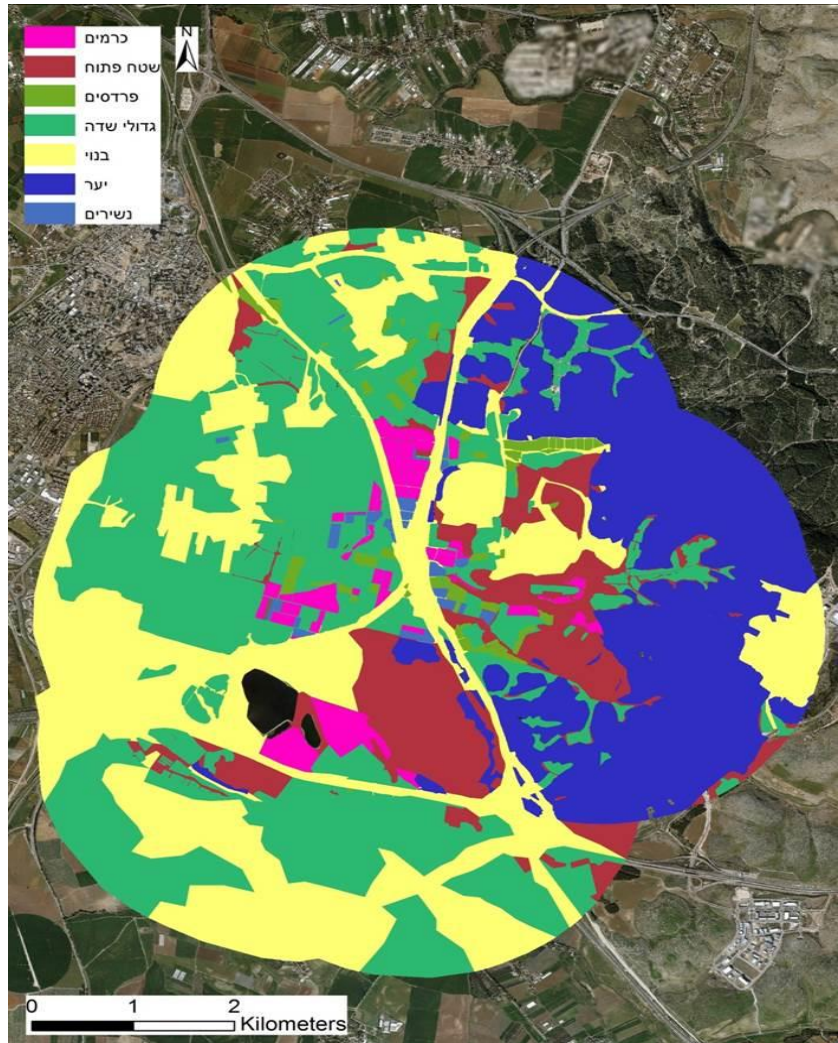
משתנה מקומי	ממוצע \pm שגיאת תקן (מינימום-מקסימום)
שטח חלקה (ha)	21.86 \pm 12.04 (3-65)
זן הגפנים לפי רגישות לקימחון הגפן	רגיש (30); לא רגיש (58); רגישות בינונית (59); לא ידוע (20)
גיל החלקה (שנים)	18.2 \pm 5.2 (7-38)
תאריך הבציר- מוקדם (יולי-אוגוסט) או מאוחר (ספטמבר-אוקטובר)	מוקדם (64); מאוחר (104)
מספר ריסוסים נגד קימחון הגפן	3.56 \pm 0.07 (0-9)

משתני נוף

מיפוי שימושי הקרקע

שכבת שימושי הקרקע של עד 1 ק"מ מהכרמים נוצרה באמצעות דיגיטציה ידנית על בסיס צילומי אוויר (Orthophotos) ברזולוציה גבוהה (0.25 מ') (המרכז למיפוי ישראל) תוך שילוב שכבות מידע קיימות ממשרד החקלאות והממ"ג הלאומי. מיפוי שימושי קרקע מסביב לכל כרם כלל: 1) שטחים חקלאיים שהתחלקו לנשירים, גד"ש, פרדסים ואחרים (לדוגמא בריכות דגים, חממות) 2) יערות; 3) כבישים ו-4) שטחים בנויים (טבלה 2; איור 3). התהליך נעשה בסביבת תוכנת ArcMap 10.5 (ESRI).

לאחר שבחנו את התפלגות שימושי הקרקע השונים סביב הכרמים, החלטנו להוציא מהמשך האנליזה את שימושי הקרקע שהופיעו רק ליד מספר קטן של כרמים: יערות, פרדסים, שימושים חקלאיים אחרים ושטחים בנויים. במקום שטח של שטחים בנויים מסביב לכרמים חישבנו עבור כל כרם את המרחק הקצר ביותר לשטח הבנוי. במקום שטח כרמים חישבנו שטח גוש כרמים הכולל את השטח של כל הכרמים הנמצאות בסמוך לכרמים המנוטרים. משתנה זה מתאר בצורה טובה יותר את הפיזור האמיתי של הכרמים שלרוב מגודלים בגושים.



איור 3. דוגמא למיפוי שימושי קרקע בחלק מאזור המחקר.

משתני מבנה הנוף

מבנה הנוף כומת באמצעות ארבע אינדקסים (טבלה 3): מספר הכתמים, צפיפות גבול הכתמים (Edge density), קישוריות בין כתמים (Patch cohesion index) ואינדקס שאנון למגוון. החישוב של שלושת האינדקסים הראשונים נעשה עבור חלקות של מטעים נשירים שבמרחק 500 מטרים מהכרמים. טבלה 2. תיאור סטטיסטי של המשתנים המרחביים והנופיים

ממוצע \pm שגיאת תקן (מינימום-מקסימום)	משתנה מרחבי
11.79 ± 11.5 (0-50.63)	שטח בנוי מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)
0.04 ± 0.32 (0-2.55)	שטח מיוער מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)
11.72 ± 0.50 (0.12-47.90)	שטח גוש כרמים מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)
18.25 ± 15.04 (0-68.29)	שטח גד"ש מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)
11.96 ± 9.63 (0-40.93)	שטח מטעים מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)
13.29 ± 15.14 (0-47.54)	שטח גידולים חקלאיים אחרים (לדוגמא- ירקות, פרחים) מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)

שטח הדורים מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)	1.27 ± 3.36 (0-23.81)
שטח פתוח מסביב לחלקה, 500 מטר (ha)	34.72 ± 21.21 (1.82-89.48)
מרחק מישוב הכי קרוב (מ')	685 ± 21.58 (0-1838.4)

טבלה 3. משתניים נופיים

משתנה	ממוצע \pm שגיאת תקן (מינימום-מקסימום)
מספר הכתמים	2.5 ± 1.8 (1-7)
צפיפות גבול הכתמים	0.007 ± 0.0003 (0.0001-0.018)
קישוריות בין כתמים	9.02 ± 0.04 (5.4-9.6)
אינדקס שאנון למגוון	1.34 ± 0.17 (0.6-1.86)

משתנים טופוגרפיים

בנוסף, נעשה שימוש במודל פני השטח (DEM) Digital Elevation Model ברזולוציה של 33 מטר פיקסל ליצירת שכבות גובה טופוגרפי, מפנה וזווית המדרון (טבלה 4).

טבלה 4. משתנים טופוגרפיים

משתנה	ממוצע \pm שגיאת תקן (מינימום-מקסימום או מספר חלקות עבור משתנה קטגוריאלי)
גובה	139 ± 4.96 (40-247)
מפנה	North (72); East (18); South (24); West (76)
שיפוע	3.57 ± 0.44 (0-33.5)

ניתוח הנתונים

בחנו קורלציה בין כל המשתנים בכל אחת מארבע קבוצות המשתנים באמצעות קורלציה פירסון ואינדקס Variance Inflation Factor (VIF). לא מצאנו קורלציה גבוהה בין המשתנים המסבירים בכל אחת מארבע קבוצות המשתנים וערכי VIF היו קטנים מ-5, עובדה המצביעה על ערכי קורלציה נמוכה בין המשתנים (Neter et al. 1989).

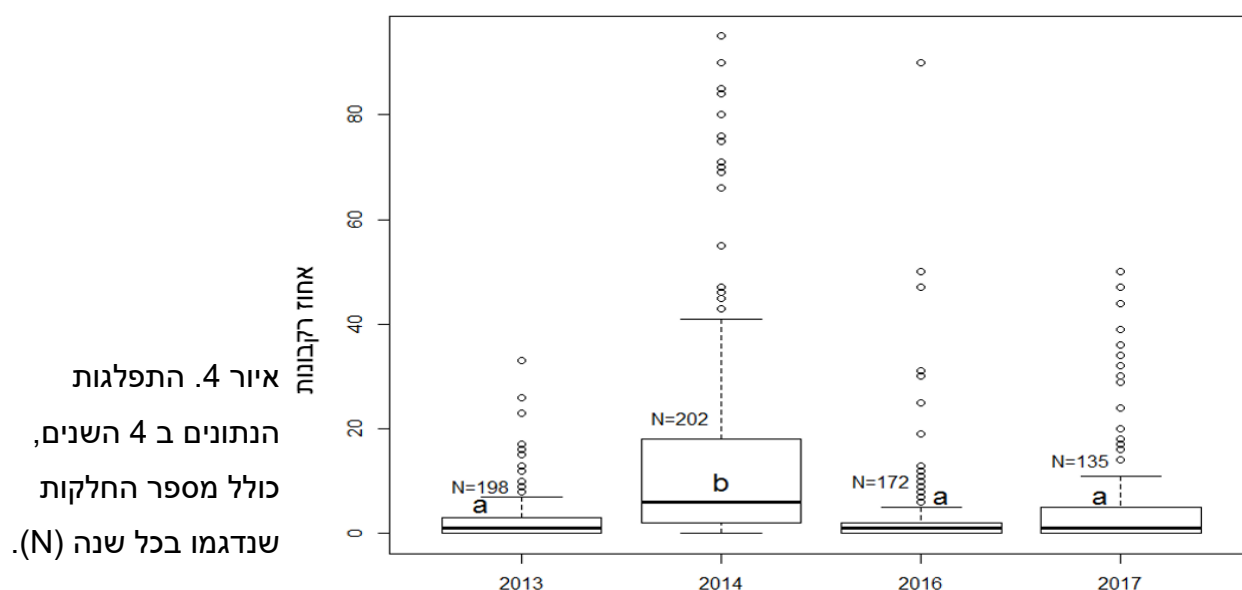
ניתוח הנתונים נעשה תוך שימוש במודל Generalized Linear Mixed effect Models (GLMM) על מנת לנתח את השפעת הגורמים המקומיים והנופיים על הנגיעות המקסימאלית. המודל השתמש בהתפלגות פואסונית בגלל ריבוי האפסים, ומיקום החלקה והשנה הותאמו כמשתנים אקראיים על מנת לשלוט בדגימות חוזרות בין השנים. האנליזות בוצעו ב R באמצעות החבילה lme4.

התאמנו מספר מודלים נפרדים (מפורט בהמשך) ונבחרו המשתנים המשמעותיים מכל מודל (P value < 0.05) שאח"כ שולבו במודל משולב סופי. נבדקו גם קורלציות בין המשתנים השונים שנכנסים למודלים. המודלים הם:

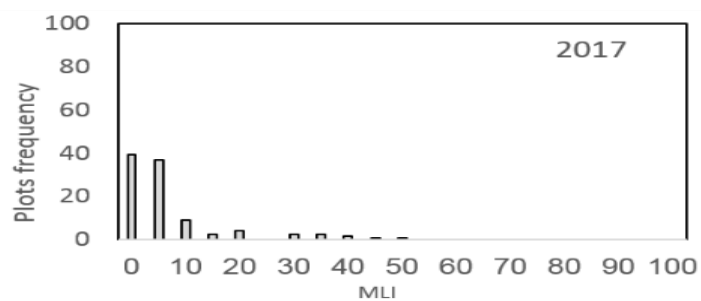
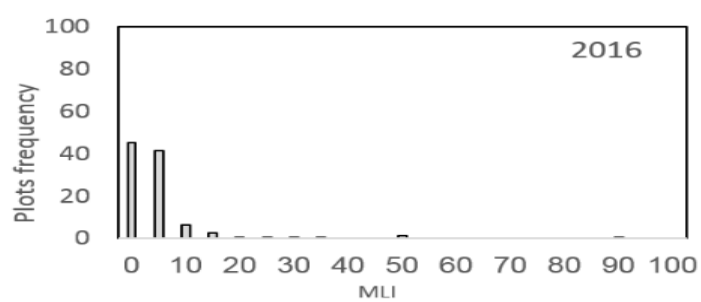
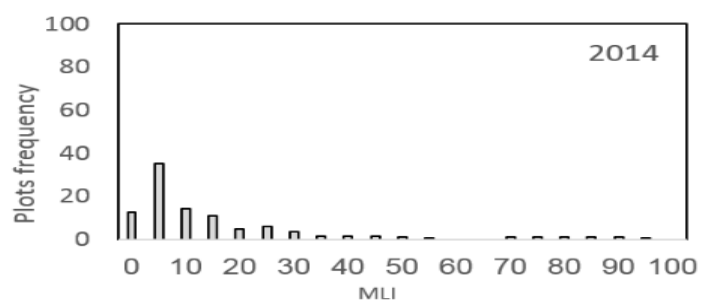
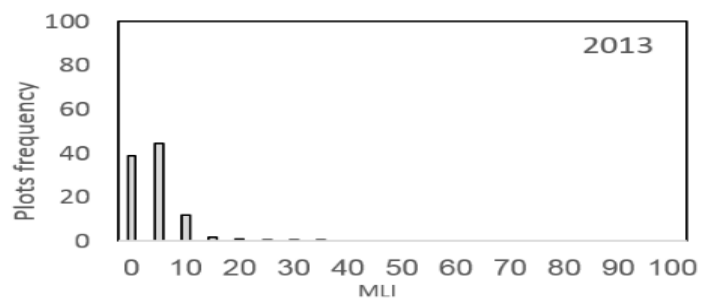
1. מודל מקומי הכולל את המשתנים המקומיים (טבלה 1).
 2. מודל נופי הכולל את שימושי הקרקע השונים (טבלה 2).
 3. מודל נופי הבודק השפעת גורמים טופוגרפיים: גובה, שיפוע וזווית מדרון (טבלה 4).
 4. מודל נופי שבודק את השפעת מדדים של מבנה הנוף (טבלה 3).
- כל הניתוחים הסטטיסטיים בוצעו באמצעות R, גרסה 3.5.1 כולל חישוב מדדי המבנה הנופי.

תוצאות

איור 4 מתאר את התפלגות הנגיעות המקסימאלית (המשתנה המוסבר) בארבע השנים שנבדקו במחקר. מבחן $kruskal-wallis$ לבחינת שוניות הראה כי ב-2014 היה הנגיעות גבוה בצורה משמעותית משאר העונות. בנוסף ישנו הבדל במספר החלקות שנדגמו בכל שנה (202-135).



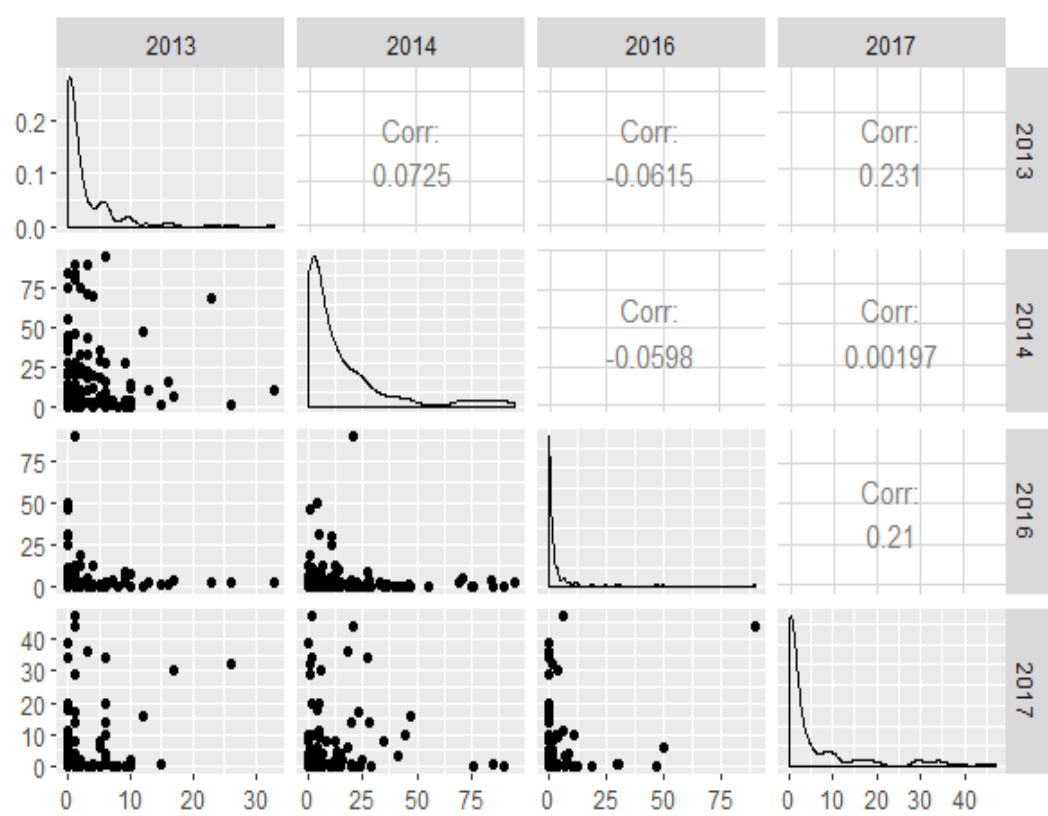
איור 5 מראה שקיימת התפלגות רחבה בנתוני הנגיעות בכל ארבעת השנים. יש מספר לא מבוטל של חלקות בהן לא נמצא קמחון.



איור 5. התפלגות הנגיעות בקימחון
הגפן

איור 6. מראה כי לא קיים קשר בנגיעות בקמחון בין השנים, כלומר, חלקה שנגועה בקימחון לא בהכרח הייתה נגועה בשנה שלפני או שתהיה נגועה בשנה שאחרי.

איור 6. בחינת
הקשר בנגיעות
בין ארבעת
שנות המחקר



המודל הראשון הינו מודל הבוחן את הקשר בין הגורמים המקומיים של החלקה על אחוז הריקבונות באשכולות כתוצאה ממחלת הקימחון (טבלה 5). מודל זה מצא שהמשתנים המובהקים הינם: שטח החלקה- ככל ששטח החלקה גדול יותר כך יש פחות אשכולות מאולחים בקמחון; מספר הריסוסים- ככל שמספר הריסוסים גדל אחוז האשכולות המאולחים גדול יותר; וזנים -בזן הרגיש נמצא אחוז האשכולות המאולחים הגדול ביותר.

טבלה 5. תוצאות המודל המקומי

מקדם	P-value	
גיל חלקה	0.10	0.13
שטח חלקה	-0.28	0.0005***
ריסוסים	0.44	1.23e-13***
זן- לא ידוע	0.55	0.023*
זן- רגישות בינונית	0.55	0.004**
זן-רגיש	1.01	3.27e-05***
בציר מאוחר	0.006	0.97

זנים משתנה קטגוריאלי ביחס לזן הלא רגיש; בציר משתנה קטגוריאלי ביחס לבציר מוקדם

מודל שימושי הקרקע מצא ששטח המטעים ומרחק מישובים הינם המשתנים המובהקים היחידים (טבלה 6). ככל שהמרחק מהישובים קטן ו/או ששטח המטעים גדול יותר, כך יש יותר נזק ממחלת הקמחון.

טבלה 6. תוצאות מודל שימושי קרקע

מקדם	<i>P</i> -value	
שטח גוש כרמים	-0.07	0.39
שטח גד"ש	-0.05	0.49
שטח מטעים	0.27	0.00***
מרחק מישובים	-0.17	0.03**
שטח פתוח	0.07	0.40

המודל השלישי הינו מודל הבודק השפעת גורמים טופוגרפיים (טבלה 7). מודל זה מראה שמחלת הקמחון לא מושפעת ממשתנים אלו.

טבלה 7. תוצאות המודל של המשתנים הטופוגרפיים

מקדם	<i>P</i> -value	
מפנה (south)	-0.07	0.8
מפנה (west)	-0.31	0.22
מפנה (north)	-0.11	0.67
שיפוע	0.11	0.15
גובה טופוגרפי	-0.14	0.058

מפנה מדרון משתנה קטגוריאלי ביחס לזווית הכי קטנה בין 0-45.

המודל הרביעי הינו מודל נופי שבודק את השפעת מדדים של מבנה הנוף (טבלה 8). מצאנו שיש קשר מובהק וחיובי בין מדד צפיפות השוליים ובין אחוז האשכולות הנגוע בקמחון.

טבלה 8. תוצאות המודל של משתני מבנה הנוף

P-value	מקדם	
0.009***	83.9	צפיפות גבול הכתמים (נשירים)
0.8	0.02	מספר הכתמים (נשירים)
0.88	-0.03	קישוריות בין כתמים (נשירים)
0.9	0.03	אינדקס שאנון למגוון

דיון

לצורך הניתוח המרחבי השתמשנו בנתונים היסטוריים שנאספו מ- 218 חלקות כרם חלקות גפן במשך ארבע שנים. בתחילה בחנו אם בכל אחת מהחלקות היה מתאם בחומרת המחלה בין שנים עוקבות והתברר שלא קיים קשר בנגיעות בקמחון בין השנים. המודלים הסטטיסטיים הבוחנים את הנגיעות בקמחון זיהו מספר משתנים חשובים. ברמה המקומית של הכרם מצאנו שיש קשר בין זן הגפנים, שטח החלקה ומספר הריסוסים ובין הנגיעות בקימחון הגפן. ידוע שלזנים שונים רגישות שונה לקימחון הגפן (עובדיה 2005) ובעבודה זו הראינו כי בקבוצת הזנים הרגישים נמצא האילוח הרב ביותר בקימחון. כמו כן מצאנו שחומרת המחלה בחלקות קטנות הייתה גבוהה יותר מאשר חומרתה בחלקות גדולות. יתכן שגודל החלקה נמצא בקשר למידת האינטנסיביות של הגידול ולהכשרה של המגדל. בדרך כלל חלקות קטנות מטופלות על ידי מגדלים פחות מנוסים ובצורה פחות אינטנסיבית (חלקות "בוטיק"). ממצא זה נתמך גם בעובדה שנמצא קשר מובהק וחיובי בין צפיפות השוליים של מטעי נשירים שסמוכים לכרמים ובין אחוז הרקבונות ומעיד, אולי, על משקי גידול קטנים. בחלקות קטנות היחס בין השוליים לשטח הוא גדול יותר מאשר בחלקות גדולות. נמצא גם כי חלקות שנמצאו בהם יותר אשכולות נגועים בקמחון יושמו יותר ריסוסים בתכשירי הדברה. ממצא זה נובע ככל הנראה מהעובדה שעל פי ממשק ההדברה המשולבת המקובל בכרמים הנסקרים מיישמים ריסוסים כנגד הקימחון רק בתגובה לזיהוי גורם המחלה. לכן, בכרמים בהם זוהתה המחלה ריססו מספר פעמים גדול יותר מאשר בחלקות בהן גורם המחלה לא זוהה.

מצאנו שקימחון הגפן מושפע משטחי מטעים נשירים ומקרבה לישובים. יתכן והקרבה לישובים קשורה בממשק הדברה פחות מחמיר שמתקיים בסמוך לישובים. החשיבות של מטעים נשירים איננה ברורה היות שהם אינם מהווים פונדקאי לפטרייה. יתכן שקיים קשר בין אזורים בהם מגדלים מטעים נשירים ולתנאי סביבה שמועדפים גם על ידי הפטרייה. כמו כן, יתכן והקשר נובע ממשתנה שלישי לא ידוע שלא נכלל בעבודה. באופן דומה איננו מבינים את הקשר לחשיבות צפיפות קצה חלקות המטעים והשפעתם על הקימחון. פטריית הקמחון איננה מופצת למרחקים גדולים ולכן אין לשער שהיא מגיעה ממקורות חיצוניים ולא היינו מצפים לקשר מובהק בין צפיפות שוליים ובין נגיעות. יתכן שגם במקרה זה, ובהמשך להסבר שניתן עבור השפעת גודל החלקה, הקשר שנמצא נובע ממשתנים נוספים שלא נכללו בעבודה זו. לסיכום, הממצאים של המחקר מאשרים את

השפעתם של גורמים מסוימים כמו רגישות הזנים, וחושפים דפוסים שלגביהם לא קיימת כיום היפותזה ברורה, אך הם ראויים לחקירה נוספת.

מובאות

עובדיה ש. 2005. אפידמיולוגיה של מחלת קימחון הגפן *Uncinula necator* ופיתוח מערכת תומכת החלטה להדברה. עבודת דוקטוראט, האוניברסיטה העברית.

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. *Molecular Plant Pathology* 13: 1–16.

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.