

פיתוח מערכת לאיתור מוקדים חמים של זבוב הפירות הים תיכוני בחלקות תפוחים והדברה מדויקת בהם

**Developing methods to detect Mediterranean fruit fly subplot hot spots in apple orchards
and using them for precision pest control**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר ע"י

סמדר אידלין-הררי – עצמאית smad1955@walla.co.il

ד"ר ליאור בלנק- המכון להגנת הצומח, מכון וולקני liorb@volcani.agri.gov.il

ד"ר ליאורה שאלתיאל-הרפז- מו"פ צפון- מיג"ל/מכללת תל חי lira@migal.org.il

ד"ר יפית כהן – המכון להנדסה חקלאית, מכון וולקני yafitush@volcani.agri.gov.il

ד"ר זאב שמילוביץ – המכון להנדסה חקלאית, מכון וולקני veshmilo@volcani.agri.gov.il

ד"ר מוופק אבדאח- המחלקה למדעי הצמח וחקר ירקות, מרכז מחקר נווה – יער mwafaq@volcani.agri.gov.il

ד"ר מרים זילברשטיין – מו"פ צפון miriams@migal.org.il

ד"ר עופר מנדלסון- אוניברסיטת תל-אביב pelican1@netvision.net.il

ד"ר אמבר היל- מכללת תל חי והמכון להגנת הצומח, מכון וולקני bamerbright@gmail.com

איתן גולדשטיין- המכון להנדסה חקלאית, מכון וולקני eitan@volcani.agri.gov.il

קיסר אוהליאב- המכון להנדסה חקלאית, מכון וולקני ohaliav@agri.gov.il

גיא לידור- המכון להנדסה חקלאית, מכון וולקני lidor@volcani.agri.gov.il

תקציר

רקע- זפי"ת הינו מזיק מרכזי במטעים התוקף תוקף למעלה מ- 250 מינים של נשירים, הדורים וסובטרופיים. כחלק אינטגרלי מהדברה משולבת, ובשל האפקטיביות הנמוכה יותר של חומרי ההדברה המותרים ועליית הסיכוי להיווצרות עמידות, עלתה חשיבות הניטור במטעים ככלי משמעותי בקבלת החלטות. במחקר שפרסמנו לאחרונה הראינו, לראשונה, שאכן קיימת אפשרות בנשירים לאתר מוקדים בתוך החלקה שנחשדו ע"י פקחים ומגדלים כ"מוקדים חמים" בהם נראתה עליה באוכלוסיית הזפי"ת כבר בתחילת העונה, עוד בטרם נגרם נזק לפירות.

שיטות עבודה- המחקר בחן אזורים בחלקות שאופיינו בעבודות קודמות כמוקדים חמים והשווה פרמטרים שונים ביחס לאזורים מציגים בחלקה שכוננו מוקדים קרים. בין השאר נבחנו מדדים ספקטראליים, נוטריינטים, חומרים נדיפים, קרינה וטמפרטורה. בנוסף, בצענו שלב ראשון בבחינה של הדברה ממוקדת.

תוצאות עיקריות- מצאנו הבדלים בין המוקדים החמים בנדיפים, במינרלים, בטמפרטורה ובקרינה. בנוסף, אחוז הפירות הנגועים במוקדים חמים ש"קוררו" נמוך משמעותית לעומת עצי הביקורת. תוצאות אלו נמצאות בהלימה לתוצאות של שנת המחקר הראשונה ותומכים בהיפותזות המחקר.

מסקנות- נראה כי המוקדים החמים נבדלים מהמוקדים הקרים. הבדלים אלו עשויים לסייע בגיבוש פתרונות לאיתור מוקדים חמים.

הצהרת החוקר הראשי:

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

תאריך: 28-4-2022

Eror Bleuk

חתימת החוקר:

מבוא

זבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) תוקף למעלה למעלה מ- 250 מינים של פירות ביניהם הדורים, נשירים וסובטרופיים. הנקבה הבוגרת מסוגלת לשרוד כמה חודשים בשטח ולהטיל במהלך חייה כמה מאות ביצים. ניטור הזבוב השכיח ביותר מבוצע בעיקר באמצעות מלכודות טרימדלור שמושכת זכרים בלבד. בשנים האחרונות הוצאו משימוש חומרי הדברה אורגנו זרחניים וההתמודדות כנגד הזפי"ת ונזקיו מתבצעת במסגרת הדברה משולבת הכוללת חומרי הדברה בעלי רעילות נמוכה יותר, מתקני לכידה המונית, אמצעים אגרוטכניים (בדגש על סניטציה מוקפדת) ופיזור זכרים מעוקרים. כחלק אינטגרלי מהדברה משולבת, ובשל האפקטיביות הנמוכה יותר של חומרי ההדברה המותרים ועליית הסיכוי להיווצרות עמידות, עלתה חשיבות הניטור במטעים ככלי משמעותי בקבלת החלטות. במטעי נשירים, המתפרשים על פני אזורים נרחבים, ניטור האוכלוסיה של זכרים ונקבות ורמת הנגיעות בפרי מתבצע מעונת האביב ועד סוף הסתיו, והינו תהליך אינטנסיבי ויקר. תכנון פיזור המלכודות והניטור כיום מתבצע ברמת החלקה, עפ"י מין הפרי ומועד הבשלתו המשפיעים על האטרקטיביות שלו לזפי"ת במהלך העונה. במחקר שפרסמנו לאחרונה הראינו, לראשונה, שאכן קיימת אפשרות בנשירים לאתר מוקדים בתוך החלקה שנחשדו ע"י פקחים ומגדלים כ"מוקדים חמים" בהם נראתה עליה באוכלוסיית הזפי"ת כבר בתחילת העונה, עוד בטרם נגרם נזק לפירות [1]. במקביל, עליית האוכלוסיה גם נמצאה בקורלציה טובה עם עליית הנגיעות בפרי. במחקר השוינו מוקדים מקומיים קטנים, הכוללים מספר עצים במטע, שנחשדו כאזורים בהם הנגיעות גבוהה וסווגו כמוקדים חמים, למוקדים סמוכים שנועדו להדגים את אוכלוסיית הזפי"ת הרגילה בחלקה וסווגו כ"מוקדים קרים".

במחקר זה אנו מאפיינים בדרכים שונות את המוקדים החמים ביחס לקרים מבחינת- נדיפים, נוטריינטיים, מיקרואקלים וספקטראליים. נדיפים המופרשים מעלים, פירות וענפים ידועים כמושכים מזיקים [2]. מספר הנדיפים וריכוזם היחסי המופרשים על ידי אברים שונים של הצמח וההרכב יכול להשתנות בהתאם לגורמים כמו- גיל הצמח, מצב הפריחה, מצבו הפיזיולוגי של הצמח ועוד [3] ובכך מהווים סיגנל לגבי מצב הצמח. כימות פרופיל הנדיפים של המוקדים החמים והקרים הוא נדבך חשוב בהבנת התנהגות הזבובים.

חרקים צמחוניים נאלצים להתמודד עם מגוון של מטבוליטים משניים, המשמשים כמנגנוני הגנה של צמחים, בהיותם חומרים המונעים עיכול ו/או רעלנים (Eubanks & Styrsy, 2002). מנגנונים אלו תלויים במידה רבה במשאבים והנוטריינטיים העומדים לרשות הצמח המושפעים ע"י הדישון (Wang et al. 2013). תרכובות "הגנה" כאלו מיוצרות בצמח מראש או בתגובה לחשיפה לפתוגן/מזיק ומצטברות באזורים נגועים בצמחים עמידים, במידה והנוטריינטיים הנחוצים לסינתזה או הפעלה שלהם, קיימים בכמות מספקת (Huber and Haneklaus 2007). כמו כן, לנוטריינטיים השפעה כללית על גידול ובריאות הצמח (Dordas 2008). בתגובה לדישון, צמחים מגבירים את

עוצמת הצימוח (Huber and Haneklaus 2007) וצימוח מוגבר מפחית לעיתים את העמידות של הצמח כנגד מזיקים ומחלות (Veresoglou et al. 2013). לנוטריינטים שונים השפעה שונה על הצמח ויכולתו להתגונן בפני מזיקים ומחלות ובמחקר הנוכחי אנו מעוניינים לבדוק האם הבדלים בכמויות חומרי ההזנה בצמח יכולים להסביר את השונות בהתפלגות המרחבית של הזפי"ת.

חרקים בהיותם יצורים פויקילותרמיים מושפעים מאוד מ**טמפרטורת** הסביבה ולכן יבחרו לשהות במקומות בהם הפעילות שלהם תהיה אופטימאלית [4] לפיכך בניסוינו להסביר את השונות המרחבית של הזפי"ת החלטנו לבדוק גם את הטמפרטורה והלחות בנקודות החמות והקרורות ואת צפיפות החופה בעזרת מידת Leaf Area Index (LAI).

מחקרים בתחום הגנת הצומח לזיהוי וניטור של פתוגניים התבססו בעבר בעיקר על-איסוף מידע ויזואלי. אך לרוב כאשר מדובר בכיסוי שטחים גדולים יש צורך בניטור רציף של השטחים החקלאיים, דבר שדורש מאמץ דיגום נרחב [5] וחשוף להטיות ושגיאות רבות. הבנה טובה יותר של מאפייני המוקדים החמים תוכל לסייע בגיבוש פתרונות טכנולוגיים שיאפשרו תהליך פשוט, מהיר, אובייקטיבי וזול יותר לאיתור מוקדים כאלה. בשנים האחרונות פותחו **חיישנים** ייחודיים, כלי הטייס בלתי מאוישים, מערכות מחשוב חזקות וטכנולוגיות ואלגוריתמים של בינה מלכותית ולימוד מכונה. בעזרת חיישנים ומערכות אלו ניתן, בין השאר, לזהות שינוי בריכוז כלורופיל ושינוי בפיגמנט הצבע בעלווה, שינוי בתכולת מים ושינוי במדדים האקו-פיזיולוגיים של הצמח. כמו כן, לרוב עליה בטמפרטורת העלווה מתבטא בהפחתה בטרנספירציה וסגירת פיוניות [6], שינויים אילו ניתן לזהות באמצעות צילומים תרמיים [7]. מדד נוסף שניתן לנטר אותו באמצעים הללו הוא שינוי בנפח העלווה [8].

בנוסף, במחקר זה נבחן את היעילות של טיפול מכון כנגד מוקדים חמים. עפ"י הפרוטוקול המקובל, איתור הופעת הזבוב בחלקה הביא לטיפול מתוגבר בחלקות שנמצאות ברדיוס גדול מסביב למוקד החם. השערת המחקר היא שטיפול ממוקד במוקד החם ימנע טיפולי הדברה בהיקף גדול יותר, ויעזור בהפחתת מספר הריסוסים בלי לסכן את היבול. בנוסף, קירור המוקדים החמים מבוצע עד היום בריסוסי תגבור בתכשירים כימיים, ברמת רעילות שונה. בשנת הניסויים הנוכחית נעשה ניסיון להחליף את התכשירים הללו בתכשיר "דקושילד" (DeccoShield) של חברת סייפק. תכשיר הלבנה ידידותי לסביבה המרוסס במטעי התפוח ממילא לצורך הצללה. ההשערה במקרה זה היא שנקבת הזבוב לא תצליח לזהות את הפרי הראוי להטלת הביצים.

היפותזות המחקר

קיימות מספר היפותזות שלא נבחנו עדיין אשר עשויות להסביר את ההטרוגניות הזו בחלקה: (1) הטרוגניות בפנולוגיה או בתכונות של העצים במטע כמו הבשלת פירות מוקדמת יותר או הבדלים בעלווה, (2) הטרוגניות בתנאי הסביבה המקומית כמו מיקרואקלים נוח או מסתור טוב יותר, (3) הטרוגניות בממשק הניהול של המגדל. הטרוגניות כזו בתוך החלקה יכולה להשפיע על התקבצות זפי"ת הבאה לביטוי במוקדים החמים, כמו למשל התרכזות זכרים לפי הזדווגות או זפי"ת בכלל בעצים בהם החופה צפופה יותר ולכן מספקת צל ומסתור [9] או נוכחות חומרים נדיפים [10], שלו יכולה להיות שונות רבה בין עצים ואף בין הגזע והענפים [11].

מטרות המחקר

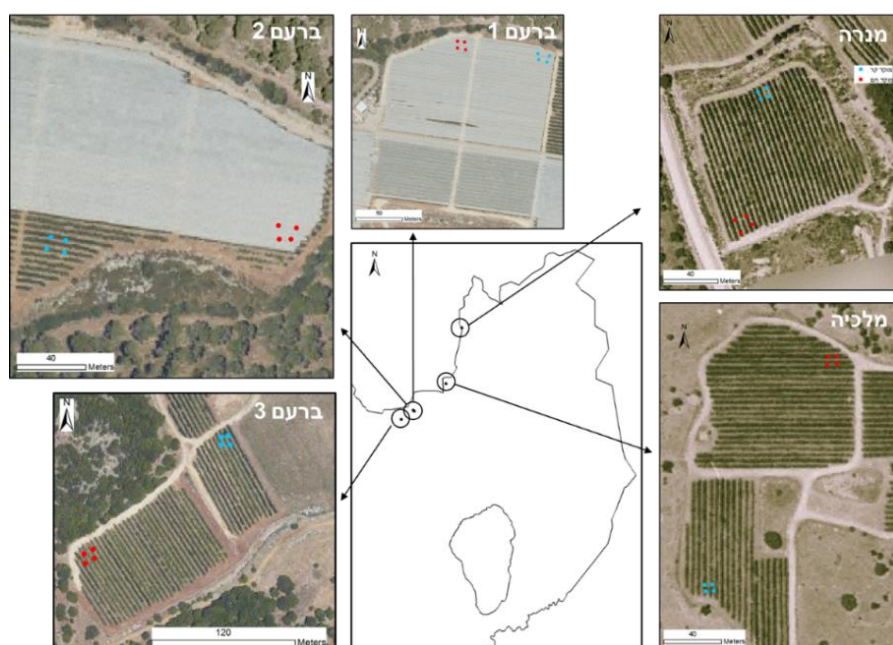
להצעת מחקר זו שני מרכיבים: (1) בחינת המאפיינים של מוקדים חמים ברמה הכימית (זיהוי חומרים נדיפים) ובחישה מקרוב (של עלווה ושל פירות) ומרחוק (צפיפות חופה וחתימות ספקטראליות) ובחינה של היכולת לשלב

אמצעים טכנולוגיים קיימים לאיתורן בשטח באמצעות מאפיינים אלה ו- (2) בחינת ההשפעה של טיפול ממוקד מקדים במוקדים חמים לשם בניית פרוטוקול להדברה מדויקת במוקדים חמים. מטרת המחקר הספציפית:

1. בחינת היעילות של טיפול מכון כנגד מוקדים חמים (קירור מוקדים חמים) על הנגיעות בכלל בחלקה וההשפעה על הנגיעות בשנים העוקבות.
2. בחינת היכולת לזהות ולאמת מוקדים חמים באמצעים ספקטראליים (קרובים ורחוקים)
3. מציאת המאפיינים של מוקדים חמים (מטבוליטיים משניים, כיסוי חופה...)

שיטות וחומרים

במחקר זה אנו עובדים בחמש חלקות בהן זוהו מוקדים חמים בעונות קודמות. בכל מוקד חם וקר נתלו מלכודות על העצים, שתי מלכודות ללכידת נקבות ושתי מלכודות ללכידת זכרים (איור 1). המלכודות נוטרו כל שבוע החל ממאי 2020 ומספר הפרטים הלכודים תועד, חושב הממוצע לכל מועד הדיגום מחמשת המטעים, ונבחן ההבדל בין המוקדים החמים והקרים בין המועדים. בנוסף, נדגמו 100 פירות בכל מוקד וחושב אחוז הפירות הנגועים.



ניתוח סטטיסטי- נבחן ההבדל בין המוקדים החמים והקרים במועדים השונים בעזרת מבחני t ובמקרה הצורך נערכו טרנספורמציות כדי שהנתונים יתאימו לתנאי המבחן.

איור 1- מיקום חמש החלקות המנוטרות ומיקום המלכודות במוקדים החמים (באדום) והקרים (בכחול).

חישה מקרוב

בשלב ראשון אופיין אופן הדיגום במונחים של: מועדי דיגום, מספר עלים/פירות, מיקום של הדגימות על העץ, סוג העלים שדיגמו (צעירים, בוגרים). במהלך העונה נדגמו עלים ופירות מעצי תפוח בשלושה מועדים המייצגים שלבים פונולוגיים שונים. בכל אתר (ברעם: 3 חלקות, מלכיה: חלקה אחת, מנרה: חלקה אחת) נבחרו 4 עצים מייצגים מכל מוקד חם ו- 4 עצים מייצגים מכל מוקד קר. מכל עץ נדגמו כ-25 עלים ו- 30-50 פירות.

במסגרת החלק של חישה מקרוב, ביצענו בשנה א' מדידות ספקטראליות על עלים ותפוחים. בשנה ב' הרחבנו את סוגי המדידות באמצעות שימוש בארבעה מכשירים נוספים (איור 2) יצוין כי מדדנו באמצעותם רק תפוחים ולא עלים.

מדידות ספקטראליות של עלים ופירות: בשנה א' במהלך העונה נדגמו עלים ופירות מעצי תפוח בשלושה מועדים המייצגים שלבים פונולוגיים שונים (טבלה 1, דוח שנה א'). בשנה ב', לאור התוצאות שהראו כי במועד הראשון, לא נצפו הבדלים ספקטראליים התרכזנו במועדים המאוחרים יותר, קרי, 19.6.20 ו-22.7.20. המדידות הספקטראליות

נעשו באמצעות ספקטרומטר מודל 4 ASD FieldSpec (Malvern Panalytical Ltd, USA). את התפוחים מדדנו כמו שהם, לא כך לגבי העלים. בהתאם למחקרים קודמים של הערכת הרכב בעלים באמצעות מדידות ספקטראליות בתחום ה-NIR, לפני המדידות הספקטראליות של העלים, העלים של כל דגימה יובשו (72 שעות ב-68°C) ונטחנו. בצורה כזו התקבלו במחקרים קודמים תוצאות טובות יותר מאשר באמצעות מדידות ספקטראליות של עלים טריים [12].

ניתוח הנתונים: המדידות הספקטראליות נותחו באמצעות שיטה כימומטרית Partial least square discriminant analysis (PLSDA) בסביבת Matlab. שיטה זו מותאמת לבסיס נתונים בו מספר הדגימות קטן בצורה משמעותית ממספר המשתנים המסבירים (במקרה שלנו מספר הערוצים הספקטראליים) וממזערת את התופעה של overfitting. במהלך הניתוח הוצאו דגימות חריגות (5-14%) לפי כללי ההחרגה המקובלים בכימומטריה. הספקטרה המקוריות עברו עיבוד מקדים של $\log(1/R)$, נגזרת ראשונה (חלון של 15nm) ו-autoscale. הנתונים חולקו לסדרת כיול וסדרות של תיקוף צולב בשיטת תריסים וונציאניים בחלוקה ל-10 חתכים (כך שמכל חתך נלקחים 9 לכויל ו-1 לתיקוף צולב במספר איטרציות). תוצאות ה-PLSDA נותחו לחישוב מדדי ביצוע באמצעות מטריצת בלבול של תוצאות התיקוף הצולב: דיוק ואמינות כלליים ודיוק ואמינות של כל קבוצה (השתייכות למוקד חם או קר). מדידת אותות פלואורוסצנטיים של תפוחים: מכשיר ה-Multiplex (Force A, France) הוא פלואורומטר נייד רב פרמטרי המיועד למדידה של פירות ועלים. בממוצע של ארבעה אורכי גל עירור ושלושה לאיתור, חיישן המולטיפלקס מודד 9 אותות פלואורסצנטיים. החיישן תוכנן על ידי חוקרים למדעי הצמח למדידת תרכובות צמחיות. בהתאם נבחרו אורכי גל לעירור ולפליטה על מנת לחשב כמה מדדים פיזיולוגיים של הצמח המתבססים על אותות הקרינה הגולמיים הנמדדים באמצעות החיישן. בהתאם, המכשיר מספק מדדי צומח שונים כמו: כלורופיל, פלבנולים, אנתוציאנינים. זה יכול להיות מאוד שימושי לאיפיון מצבי עקה אביוטיים ולבגרות ואיכות פרי. Multiplex מספק גם מדד NBIs הידוע כאינדיקטור טוב לסטטוס חנקן צמחי. במכשיר זה אנו מדדנו את התפוחים בשני צדדים.



איור 2- [א] מדידת NIR בתפוחים; [ב] מדידת פלואורוסציה בתפוחים באמצעות Multiplex; [ג] מדידת DA באמצעות Dameter; [ד] מד צבע נייד MINOLTA ו-[ה] מדידת סוכר באמצעות רפראקטומטר דיגיטלי.

מדידות כלורופיל: מכשיר ה-DA-Meter (Sinteleia בולוניה, איטליה) הוא מכשיר VIS NIR נייד המודד בליעה של קרינה בשני אורכי הגל כדי לקבוע באופן לא הרסני את תכולת הכלורופיל בקליפות הפרי. תכולת הכלורופיל בפרי הוא אינדקס טוב למצב ההבשלה של הפרי. אופן פעולתו אינו תלוי בתנאי מזג האוויר של העונה גורם המשפיע על מדידות אחרות כגון BRIX. יתרון זה מאפשר לבצע את המדידות לא הרסניות ואמינות של פירות על העץ. בשנה זו, ביצענו את המדידות במעבדה בפירות קטופים.

מד צבע: מד הצבע מודל CM-600d (Japan, Konica Minolta) הינו כדור נייד עם יישור אנכי המאפשר מדידת צבע מדויקת והדירה של דגימות מעוצבות ומעוקלות. עבור כל מדידה נלקחים בו זמנית נתונים עבור רכיבים ספקולריים הכוללים את כל שיטות המדידה של צבע. בניתוח המתואר בדו"ח השתמשנו בסקאלת RGB בלבד.

מדידת BRIX (תכולת סוכר): למדידת BRIX בפירות השתמשנו במכשיר רפראקטומטר דיגיטלי תוצרת חברת ATAGO (Japan) עם טווח BRIX רחב (0-30%). דגימות חצאי פרי נסחטו באמצעות מכבשון קטן שפותח על ידנו והמיץ נבדק לכמות ה-BRIX.

ניתוח סטטיסטי: לאחר המדידות באמצעות ארבעת המכשירים האחרונים בוצע ניתוח שונויות בין מדידות של פירות ממוקדים חמים וקרים כדי לבדוק באלו תכונות של הפרי נמצאו הבדלים מובהקים שעשויים להצביע על ההבדלים בלכידות של הזבוב.

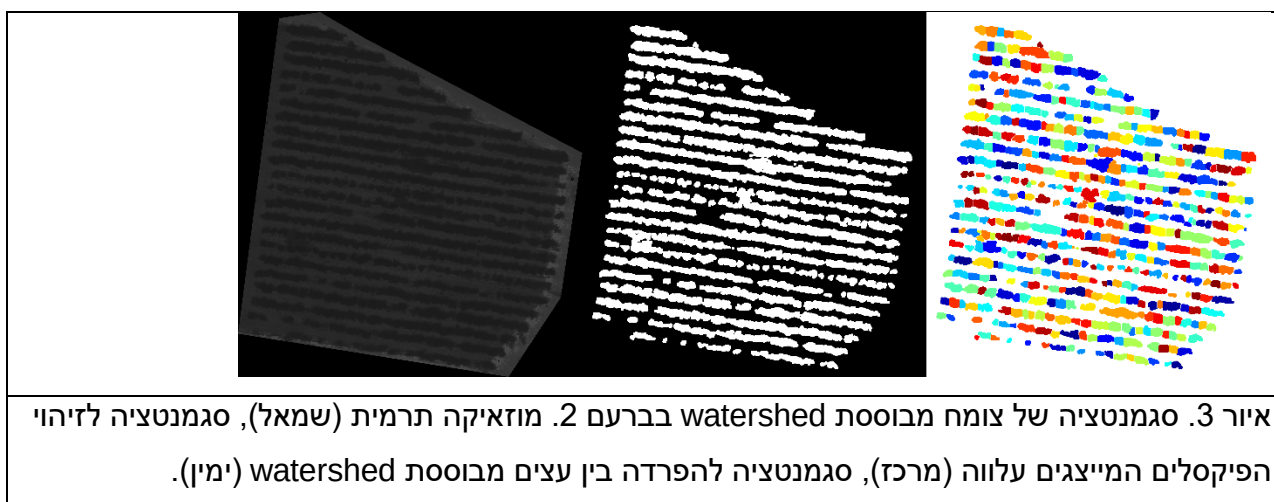
חישה מרחוק

ביצוע צילומים: בשנה א', נותחו דימוי לוויין Sentinel-2 המבוססים החזר ספקטראלי בתחום הנראה והא"א הקרוב. הרזולוציה המרחבית הנמוכה יחסית של דימוי הלוויין הללו סיפקו תוצאות שעשויות לנבוע מהקרבה של המוקדים החמים והקרים לשבילים ולאו דווקא מהבדלים אמיתיים בעלווה. בשנה ב' ו- ג' התמקדנו בצילומי אוויר תרמיים באמצעות כלי טיס בלתי מאוישים (כטב"מ) בעלי רזולוציה גבוהה ביחס לדימוי הלוויין כדי לבחון אם קיימים הבדלים בטמפרטורת העלווה. ההשערה שלנו הייתה, כי עלוות העצים במוקדים החמים תהיה בעלת טמפרטורה נמוכה יותר מזו של המוקדים הקרים. טמפרטורת עלווה נמוכה היא אינדיקציה לתנאי סביבה נוחים לזבוב. צילומים תרמיים של צומח צריכים להתבצע באמצע היום, בשעות של קרינת שמש מקסימאלית, בהם הבדלים במצב מים של רב הצמחים הם הגדולים ביותר. מתוך המטעים שנבחנו במחקר זה, נבחרו שני מטעים קרובים יחסית לצילום בגלל מגבלות של זמן ותקציב. בשנה ב' נבחרו מלכיה וברעם 2 ובשנה ג' נבחרו ברעם 2 וברעם 5 (איור 1). בצורה כזו ניסינו להספיק לצלם את שניהם ביום אחד. אולם, נאלצנו להסב את הצילומים מברעם 5 בשל הפרש גובה של 30 מטר בין שני המוקדים אשר בעטיו נמנעה שמירת קשר עין בין המטיס לרחפן, לברעם 4. בשנה ב' שני המטעים צולמו ב-18.6.20 המטע במלכיה צולם גם ב-4.6.20 והמטע בברעם צולם גם ב-20.8.20. בשנה ג' ברעם 5 צולמה ב-24/06/2021. חלקות ברעם 2 ו-4 צולמו בימים 21/07/2021 ו-26/08/2021. ניתן לציין כי במוזאיקה התרמית בברעם 5 חלק משורות העצים מטושטשות, ולכן לא בוצע עיבוד לאתר זה. יש לציין כי המטעים מאוד קרובים לגבול והיינו צריכים לקבל אישורים מיוחדים.

הצילומים בוצעו מגובה של 50 מטר באמצעות כטב"מ Matrice-600 עליו מותקן מטע"ד (מטען ייעודי) משולש, קרי, מטע"ד הנושא 3 מצלמות שונות: [1] מצלמה תרמית מודל SC-655 (FLIR, Sweden) בטווח 8-14 מיקרון, בעלת רזולוציה של 640X480 פיקסלים, רגישות ודיוק רדיומטרי של 0.1 ו-2 מעלות צלזיוס, בהתאמה. בצילום מגובה של 50 מ' הרזולוציה המרחבית היא כ-10 ס"מ לפיקסל; [2] מצלמת מולטיספקטראלית Rededge-MX (MicaSense, USA) בעלת חמישה ערוצים ספקטראליים (כחול, ירוק, אדום קצה-האדום וא"א קרוב). בצילום מגובה של 50 מ' הרזולוציה המרחבית היא כ-2 ס"מ לפיקסל. [3] מצלמת Sony RGB מדגם A6000 בעלת חיישן 24 מגה פיקסל ועדשה בעלת אורך מוקד 16 מ"מ. צילום RGB של המטעים מוצג באיור 1. ניתן לראות כי על חלקים מכל מטע פרושה רשת.

ניתוח הצילומים: מהצילומים שבוצעו, יוצרו מוזאיקות מיוחסות גיאוגרפית באמצעות תוכנת Pix4D (Pix4D, SA), LtD). ניתוח מתקדם נעשה רק על הצילומים התרמיים. בסביבת תוכנת ArcGIS (ESRI, USA), חולצו פיקסלים של עלווה מתוך אובייקטים אחרים בצילום (בעיקר קרקע). לכל צילום נקבע ערך טמפרטורת סף תחתון (כל הפיקסלים מתחתיו יוחסו לעלווה). באמצעות מודול Zonal Statistics חולצו טמפרטורות ממוצעות לכל פוליגון של מוקדים חמים וקרים. בשנה ג', מכיוון שבברעם המוקד הקר נמצא תחת רשת ואילו המוקד החם לא (איור 1) יוצרו מוזאיקות מיוחסות

גיאוגרפית באמצעות תוכנת Metashape 1.6.5 (Agisoft, LLC, Russia). בשל כיסוי חלק המטעים ברשת, ניתוח מתקדם נעשה רק על הצילומים התרמיים. לצורך זיהוי העצים והטמפרטורה שלהם במוזאיקות של שנה ב' ו-ג', פותח הליך עיבוד תמונה חצי-אוטומטי בסביבת Matlab ליצירת סגמנטציה המבוססת על המרת watershed (יצירת מתאר של אגנים). לפני כן, בוצע הליך הנועד להפריד בין פיקסלים של צומח ובין פיקסלים של עצמים אחרים אשר כלל שלושה הכלים הבאים, בנפרד ובמשולב: 1) Otsu (2, Continuous-Max-Flow (3, Full Width Half Max, בדומה למתואר ב Cohen et al. (2013)¹. איור 3 מדגים את תהליך הסגמנטציה של זיהוי העצים בברעם 2. ניתן לראות כי ההפרדה בין העצים לא היתה מושלמת, קרי, נוצר איחוד בין החופות של עצים שכנים. בהתאם לכך, לצורך השוואה בשטח החופה של העצים בין המוקד החם ובין המוקד הקר, השטח של כל סגמנט הומר לשטח חופה לעץ באמצעות נרמול שלו על ידי אורכו ומרחק ידוע בין העצים (2.5 מ'). לאחר מכן, לכל מוקד חושב ממוצע שטח חופה לעץ. לצורך השוואה של טמפרטורת העלווה בין מוקדים חמים וקרים, לכל מוקד חושב ממוצע של ממוצע משוקלל של טמפרטורות העלווה לפי מספר העצים בסגמנט. מבחן T-test paired חושב לבחינת ההבדלים בשטח החופה וטמפרטורת העלווה בין המוקדים החמים ובין המוקדים הקרים בקרב אתרי הניסוי.



זיהוי נדיפים

מידת ה-GC-MS נעשתה במעבדת נווה יער. דגימות פרי נשמרו בחנקן נוזלי עד הגעתם למעבדה. שם נטחנו הדגימות והוכנו בבקבוקונים למכשיר ה-GC-MS. לאחר מכן ניתחנו את פלט הדגימות ע"י חישוב השטח מתחת לכל עקומת פליטה של כל נדיף. מבחן t שימש לבחינת מובהקות סטטיסטית.

בחינה של הדברה ממוקדת במוקדים חמים

לאור התוצאות החיוביות שהתקבלו בשנת המחקר הראשונה, בהן בלטה יעילות ההלבנה במניעת עקיצות זפי"ת חזרנו על הניסוי ולהרחיב את התצפיות בשנה ב', לבחון את יעילות ההלבנה במניעת עקיצות במוקד החם ע"י טיפול הקדמי (פרופילקטי) של המוקד החם ולבחון יישום משקי ע"י המגדל. כל הניסויים בוצעו במטעים מסחריים המוגנים ברשת של מתקני "משוך וקטול" כטיפול רקע להגנה מהזבוב.

ניסוי יישום ברובים - הלבנה בתכשיר "דקו-שילד" לעומת ביקורת לא מולבנת (איור 4). נבחרו 4 שורות מהזן זהוב, בחלקה בה הפרי נעקץ בכל שנה (מוקד חם קבוע). הניסוי נערך בבולקים באקראי, חמש חזרות לטיפול וחמש

¹ את התהליך הזה יישמה סתיו, סטודנטית של ד"ר ויקטור אלחנתי מהנדסת תעשייה וניהול באוניברסיטת בן גוריון, במסגרת פרויקט גמר.

לביקורת; בכל חזרה 5 עצים, והבדיקה נערכה על שלושת העצים המרכזיים. סה"כ 15 עצים לבדיקה בכל טיפול, מהם נדגמו 50 פירות לבדיקה. יישום התכשיר נעשה במרסס רובים, 4 ליטר לדונם, כיסוי ברובים אקוויוולנטי למפוח בנפח של 200 ל"ד. לפני תחילת הניסוי בוצעה בדיקה מקדימה של פירות בחלקת הניסוי לנוכחות עקיצות זבוב בפרי, בכל החזרות לא אותרו עקיצות בפירות. התכשיר רוסס בשלושה מועדים: 1.6.2020, 10.6.2020, 1.7.2020. בדיקות פרי בוצעו במהלך תקופת רגישות הזן זהוב, במשך חודשיים, בתדירות של אחת לשבוע.

ניסוי יישום מסחרי במרסס מפוח ספידט - הניסוי בוצע בחלקה ב, על הזן זהוב. **הטיפולים**: הלבנה בתכשיר "דקו-שילד" לעומת ביקורת לא מולבנת. הניסוי בוצע בארבע חזרות לטיפול, כל חזרה כללה 2 שורות שלמות צמודות. יישום התכשיר בוצע במרסס מפוח ספידט 180 בנפח ל' /ד', יישום של 4 ליטר תכשיר לדונם. התכשיר רוסס בשלושה מועדים: 1.6.2020, 10.6.2020, 1.7.2020.



איור 4- מראה העצים שהולבנו ב"דקושילד" (משמאל) לעומת עצי ביקורת (מימין)

בדיקת נוטריינטים

לשם בחינת ההבדלים בהרכב וריכוז הנוטריינטים במוקדים חמים וקרים, אספנו 30 עלים ו-10 פירות מכל עץ במוקדים החמים והקרים. לפני הבדיקה, הדגימות יובשו ונטחנו והאנליזות נערכו במעבדת שירות השדה בנוה יער. ריכוז החומרים או הכמויות המוחלטות נמדדו בשיטות האנליטיות המקובלות. אנליזת רמות הנוטריינטים נערכו במאי, יוני ויולי 2020 והן נמדדו בצפת הפרי. ניתוח סטטיסטי-השוואה בין רמת הנוטריינטים השונים בדגימות נעשתה בעזרת מבחני t (לאחר טרנספורמציות מתאימות במקרה הצורך).

בחינת המיקרואקלים במוקדים החמים והקרים

מדדת טמפרטורות ולחות - בכל מוקד (חם או קר) מוקם הובו לניטור קבוע של טמפרטורה ולחות החל ממאי ועד ספטמבר 2020. מיקמנו את ההובואים בחופה של עץ אחד בכל מוקד חם וקר על ענף בגובה 1.5 מטרים מהקרקע. צפיפות חופת העצים בכל מוקד. לשם כך, השתמשנו במכשיר המכמת האינדקס של אזור העלה (LAI- leaf area index). מדד שטח העלים מוגדר כשטח העלים המוקרן על יחידת אדמה. המדידות בוצעו בכל מוקד חם ומקום קר שלוש פעמים, מאי, יוני ויולי. כל מיקום מכויל יחסית לשמש החיצונית וזוויות השמש. ואז מתחת ל-4 עצים עם המכשיר מדדנו 10 פעמים ואז לקחנו ממוצע של המדידות הללו.

איפיון מרחבי של מיקום המוקדים החמים שיאותרו באמצעי החישה

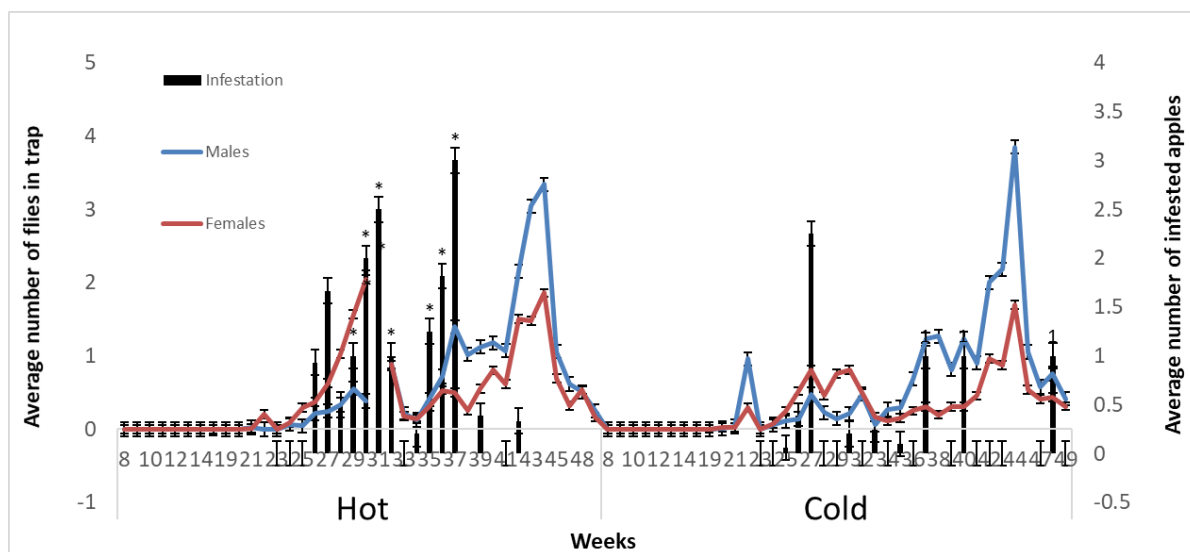
אנליזה מרחבית בוצעה על חמשת המוקדים המנוטרים.

מיפוי שימושי הקרקע - מפה של כיסוי הקרקע סופקה על ידי משרד החקלאות. כיסוי קרקע (טבעי, חקלאות, יער או בנוי) מסביב לכל חלקה אומת באמצעות תצלומי אוויר (Orthophotos). כדי לבחון אם קיים קשר בין מיקום

המוקדים לשימושי הקרקע השונים, בחנו את הקשר בין נוכחות מיקום המוקד (חם וקר) לשימושי הקרקע בשני מרחקים מהמוקדים- 500 ו- 1000 מטרים. המוקדים נמצאו במרכז של שתי טבעות (Buffers). הקשר לכיסוי הקרקע נבחן בטווחים הבאים מקצה החלקה: 300, 600 ו- 900 מטרים. כיסוי הקרקע שמופו נחלקים ל-4 קטגוריות: שטחים פתוחים ומיעורים, שטחי גר"ש, שטחי מטעים ופרדסים ואזורים בנויים. **אנליזה סטטיסטית**- הקשר בין הרכב הנוף מסביב למוקדים לכיסוי הקרקע נבחנה באמצעות Two ways ANOVA.

תוצאות

נוכחות זבובים זכרים נמצאה לראשונה במוקדים החמים בשבוע 22 בעוד שבמוקדים הקרים היא החלה שבועיים מאוחר יותר (איור 5). בנוסף, הנגיעות בפירות גבוהה בצורה משמעותית במוקדים החמים לעומת הקרים.



איור 5- מספר פרטי זבוב הפירות הים תיכוני שנמצאו במלכודות מדי שבוע במוקדים החמים והקרים במשך שלושת החודשים. כל עמודה מיצגת ממוצע של חמשת המטעים שנבדקו באותו מועד. עמודות עם כוכבית נבדלות בנגיגות בפירות בין המוקדים החמים למוקדים הקרים באותו שבוע ברמת מובהקות של $P < 0.05$ לפי מבחן t.

חישה מקרוב

מדידות ספקטראליות של עלים ופירות: תוצאות המיון של התפוחים היו נמוכות (44%-60%). טבלה 1 מציגה את תוצאות המיון של העלים מ-2 מועדים מ-2019 ושניים מ-2020. התוצאות הפחות איכותיות הן של המועד הראשון המוצג של שנת 2019 ואילו בכל המועדים האחרים הדיוק והאמינות היו גבוהים מ-75%. יש לציין, כי במועד הראשון המוצג, נלקח ממוצע של ארבע מדידות ספקטראליות של אותה דגימת עלים ואילו במועדים האחרים המודל השתמש בכל העקומים. התוצאות הללו מצד אחד יכולות להצביע על הבדל ספקטראלי גדול יחסית בין עלים ממוקדים חמים וקרים. מצד שני, יכול להיות שהדיוק הגבוה נבע מסדרת העקומים הגדולה (פי 4) ממספר דגימות העלים בפועל. מה שמחזק את ההשערה הזו היא העובדה שגם בפירות, שבהם היו מספר דגימות קטן יחסית (100 מכל מוקד), התקבלו תוצאות לא טובות (ראו לעיל). יכול להיות שכדי לבחון האם יש הבדלים ספקטראליים משמעותיים בין עלים ותפוחים ממוקדים שונים צריך לבצע דיגום גדול הרבה יותר. נראה כי בעלים אולי הדבר אפשרי, בפירות, לא ניתן יהיה לדגום בכל מועד 200 תפוחים משני מוקדים.

טבלה 1: מטריצות הבלבול של תוצאות ה-Cross validation של מיון העלים למוקדים חמים וקרים ב-2019 ו-

2020. הערכים המוחלטים מייצגים מספר דגימות של אבקת עלים

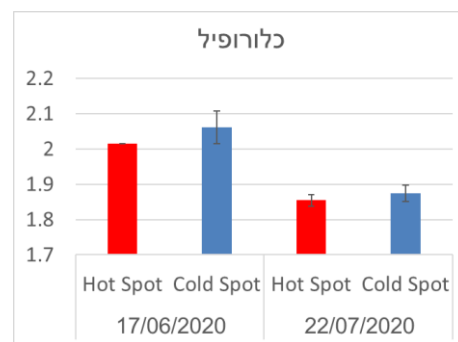
Leaf – 23/6/19*			Leaf – 17/6/20		
	Cold	Hot		Cold	Hot
Cold	20	20	Cold	159	38
Hot	16	19	Hot	39	160
Accuracy	56%	49%	Accuracy	80%	81%
Reliability	50%	54%	Reliability	81%	80%
Leaf – 25/7/19			Leaf – 22/7/20		
	Cold	Hot		Cold	Hot
Cold	115	31	Cold	187	28
Hot	39	117	Hot	38	129
Accuracy	75%	79%	Accuracy	83%	82%
Reliability	79%	75%	Reliability	87%	77%

* ב-23/6/19 נעשה מיון של ארבעה עקומים ספקטראליים לכל דוגמת אבקת עלים ואילו במועדים האחרים כל

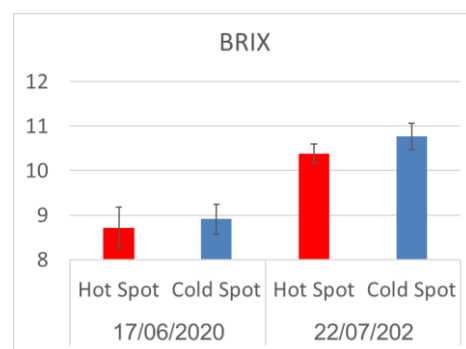
עקום נלקח כדגימה נפרדת לכן יש פי ארבעה דגימות ספקטראליות מאשר במועד השני.

מדודות כלורופיל ו-BRIX: איור 6 מציג את ערכי אינדקס DA (עצמת כלורופיל) כפי שנמדדו באמצעות מכשיר ה-DA-Meter ואיור 7 מציג את ערכי ה-BRIX. לא נמצאו הבדלים מובהקים באף אחד מהמועדים אך התקבלו מגמות. כמצופה, ערכי הכלורופיל בתפוחים משני המוקדים ירדו מהמועד הראשון לשני ובמקביל ערכי ה-BRIX עלו. בשני המועדים, ערכי הכלורופיל במוקדים החמים היו נמוכים יותר וכך גם בסוכר. השילוב של התוצאות משני המדדים איננה תואמת את הצפוי. מכיוון שהיינו מצפים מתאם הפוך בין שני המדדים כפי שמתקבל מהמעבר מהמועד הראשון לשני.

איור 6- ערכי כלורופיל (ממוצע ושגיאת תקן) של תפוחים כפי שנמדדו באמצעות מכשיר DA-meter נייד



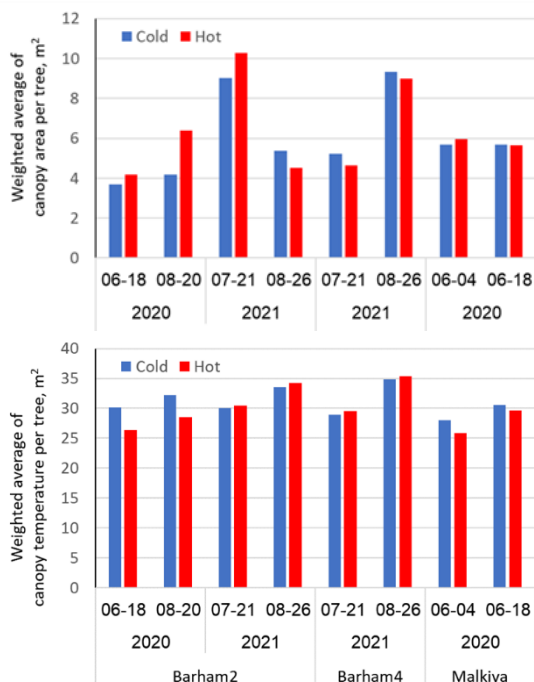
איור 7- ערכי BRIX (ממוצע ושגיאת תקן) של תפוחים כפי שנמדדו באמצעות רפראקטומטר



מד צבע ומדידת אותות פלואורסצנטיים של תפוחים: מדידות צבע ואותות פלואורסצנטיים של תפוחים לא הראו הבדלים בין תפוחים ממוקדים חמים וקרים. מדידות הצבע בשלושת ערוצי ה-RGB הראו כי לפירות משני המוקדים יש אותו עקום ספקטראלי עם ערכי החזר הולכים וגדלים בכחול, אדום וירוק בהתאמה. גם לא נמצא הבדל בין המועדים בהחזר הספקטראלי. בנוסף בכל מדדי הפלואורסצנציה נמדדו ערכים מאוד דומים בפירות שבמוקדים חמים וקרים.

חישה מרחוק

לא נמצאו הבדלים סטטיסטיים הן בשטח החופה (איור 8) והן בטמפרטורת העלווה (איור 9) בין המוקדים החמים ובין המוקדים הקרים, בקרב אתרי הניסוי ($T\text{-test paired, } n=8, p>0.05$). תוצאה זו נבעה בעיקר מהבדלים בין האתרים. בברעם 2 ברוב המועדים (2 מועדים ב-2020 וביוני 2021) במוקד החם שטח העלווה הממוצע היה גבוה יותר בהשוואה למוקד הקר. ואכן, ממצא זה מתכתב עם רמות לכידה ונגיעות גבוהות יותר במוקד החם ביוני, יולי ואוגוסט 2020 ויוני 2021 (נספחים 1 ו-2). באוגוסט 2021, המגמה התהפכה, ושטח עלווה גבוה יותר היה במוקד הקר לעומת המוקד החם. במקביל, רמת לכידה גבוהה יותר התקבלה במוקד הקר לעומת המוקד החם, אך עדיין במוקד החם נרשמה רמת נגיעות גבוהה יותר (נספחים 1 ו-2). בברעם 4, הן ביולי והן באוגוסט שטח העלווה הממוצע במוקד החם היה מעט נמוך יותר בהשוואה למוקד הקר. לעומת זאת, רמת לכידה גבוהה יותר (2.98 זבובים לחודש) נרשמה ביולי במוקד החם לעומת המוקד הקר (1.97); באוגוסט, נרשמו לכידות רק במוקד הקר. ביולי, נגיעות של 2% פירות נגועים נרשמה במוקד החם לעומת 1% במוקד הקר; כאשר באוגוסט לא נרשמה נגיעות. במלכיה, בכל מועד צילום ביוני, ההבדל בשטח העלווה בין שני המוקדים בשני מועדי הצילומים היה בסביבות 0.3 מ"ר. לעומת זאת, רמת לכידה גבוהה פי 4 נרשמה ביוני במוקד החם, בו-בעת נרשמה נגיעות רק במוקד הקר (0.25% פירות).



איור 8- ממוצע משוקלל של שטח חופה לעץ במוקדים החמים והקרים בברעם 2 (חודשים יוני ואוגוסט 2020 ויולי ואוגוסט 2021), ברעם 4 (יוני ויולי 2021) ומלכיה (יוני 2020)

איור 9- ממוצע משוקלל של טמפרטורת עלווה לעץ במוקדים החמים והקרים בברעם 2 (חודשים יוני ואוגוסט 2020; יולי ואוגוסט 2021), ברעם 4 (יוני ויולי 2021) ומלכיה (יוני 2020).

זיהוי נדיפים

תוצאות הנדיפים בפירות הושאו במהלך שלוש תקופות המדידה- מאי, יוני ויולי. בחודש מאי לפני שאוכלוסיית הזבובים מתחילה לאכלס את העצים, זיהינו 13 נדיפים הנבדלים במובהק סטטיסטית זה מזה בכמותם בין המוקדים

החמים לקרים, בשתי שנות המחקר הראשונות (טבלה 2). בשתי שנות המחקר כמעט ולא מצא הבדלים מובהקים
בנדיפים ביולי. ניכר שעיקר ההבדלים בנדיפים בין המוקדים החמים והקרים נמצא ביוני. בשנתיים של המחקר נמצא
שרק Z-2 hexanol נבדל באופן עקבי ביוני בין המוקדים החמים והקרים ונמצא ברמה גבוהה יותר במוקדים החמים.
Z-2 hexanol נחשב כריח התפוחים הקלאסי.

טבלה 2: השוואה הנדיפים בפירות (ממוצע ושגיאת תקן) בין המוקדים החמים והקרים במאי, יוני ויולי 2019 ו
2020. מוצגים רק נדיפים שנמצאו ברמות שונות סטטיסטית בין מוקדים חמים וקרים ברמת מובהקות של $P < 0.05$
לפי מבחן $t = 30$.

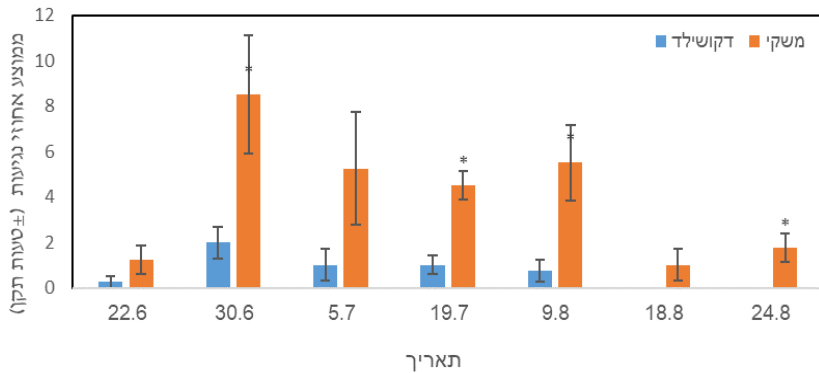
יולי 2019		יוני 2019		מאי 2019		נדיף
מוקד חם	מוקד קר	מוקד חם	מוקד קר	מוקד חם	מוקד קר	
				4.60E-10	5.40E-10	E 2 hexenal
		0.02	0.017	3.30E-10	8.80E-10	E 3 hexenyl acetate
		0.0029	0.003	1.10E-08	1.70E-08	Z 2 hexenol
				4.70E-09	1.30E-08	Benzaldehyde
		0.005	0.002	2.20E-10	3.00E-10	Hexyl ester acetic acid
		0.009	0.005	2.90E-10	3.70E-10	E 2 hexenyl acetate
		0.006	0.004	9.10E-11	1.50E-10	Nonanal+J1
				4.90E-11	1.40E-11	E beta ionone
				7.00E-11	1.40E-10	10,11 epoxy calanenene
		0.002	0.001	2.40E-11	6.90E-11	E,E Alpha farnesene
				2.60E-11	9.70E-11	Delta
		0.001	0.003			E E 2 4 hexadienal
		0.002	0.001			2 2 4 trimethyl 1 3 pentaediol disobutyrate

יולי 2020		יוני 2020		מאי 2020		
מוקד חם	מוקד קר	מוקד חם	מוקד קר	מוקד חם	מוקד קר	
		7.37	3.85			E 2 hexenal
						E 3 hexenyl acetate
		2.5	2.87			Z 2 hexenol
						Benzaldehyde
		6.67	8.56			Hexyl ester acetic acid
						E 2 hexenyl acetate
		2.55	3.38			Nonanal
		0.007	0.004			E beta ionone
		0.005	0.014			10,11 epoxy calamenene
						E,E Alpha farnesene
						Delta
0.103	0.218	14.26	10.04			E E 2 4 hexadienal
						2 2 4 trimethyl 1 3 pentaediol disobutyrate

השפעת קירור מוקד חם - על צמצום תגבור ההדברה בחלקה כולה

בחינה של הדברה ממוקדת במוקדים חמים

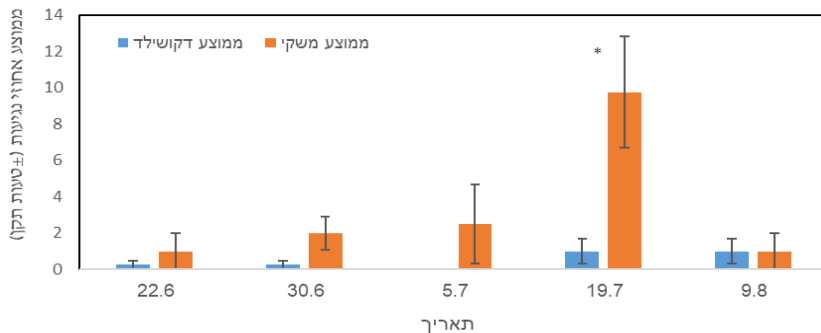
הממצאים המתוארים באיור 10 מראים את תרומת ההלבנה, שיושמה באמצעות רובים, להפחתה משמעותית בנגיעות הפרי.



איור 10- השפעת טיפול הלבנה ב"דקושילד" על נגיעות בזפי"ת (%) של תפוח מזן זהוב מנרה 2020 * ההבדל בין הטיפולים מובהק על פי מבחן t ברמת מובהקות של $p < 0.05$

סקרי הנגיעות מראים את תרומת טיפול

ההלבנה גם ביישום משקי במרסס ספידט (באיור 11). השונות הגדולה נובעת מהעובדה שהניסוי בוצע בכל החלקה, אבל מופע הזבוב הוא אינו אחיד בחלקה, ובחלקה זו המופע העיקרי הוא באזור אחד; הבדל מובהק בין הטיפולים נמצא רק במועד אחד (19.7.2020) אך המגמה נצפתה בכל המועדים.



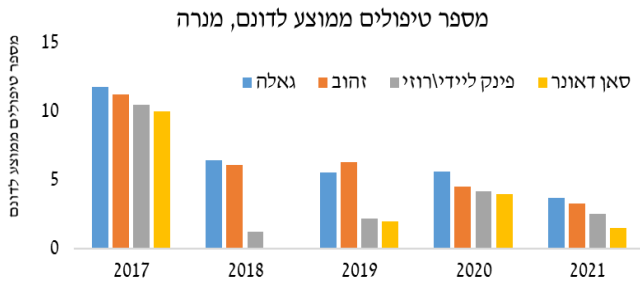
איור 11- השפעת טיפולי הלבנה ב"דקושילד" ביישום משקי על נגיעות בזפי"ת (%) בתפוח זהוב, חלקה ב', מנרה 2020. * ההבדל בין הטיפולים מובהק על פי מבחן t ברמת מובהקות של $p < 0.05$

פרוטוקול קירור נקודות חמות במטע תפוח

הפרוטוקול מתבסס על 4 יישומים: I. ריסוס כפול של דקושילד (הלוך וחזור בשורה כדי ליצור שכבה עבה) בראשית חודש יוני. II ריסוס רגיל בתחילת יולי, חופף להנחייה לצורך הצללה. III. ריסוס בחודש אוגוסט או בהתאם לצורך בהצללה. הריסוס מתבצע במרסס מפוח ספידט, בנפח תרסיס של 150 – 180 ל"ד' בהתאם לגודל העץ. מהירות הנסיעה כ-3 קמ"ש. ריכוז החומר במרסס – 4% חומר מסחרי. במהלך 2021 נעזרו מספר משקים בהלבנת העצים בזן זהוב לשימוש הכפול (הצללה ומניעת עקיצות זבוב) ועקב כך הפחיתו מאד את הצורך בתיגבור הדברה בעזרת חמרי הדברה רעילים. במנרה (איור 12) ניתן לראות שבשנת 2019 ריססו את הזהוב בחמרים קונבנציונאליים עפ"י הנגיעות. ובשנים 2020, 2021 נעזרו בטיפול דקושילד ומספר ריסוסי ההדברה ירד מאד.

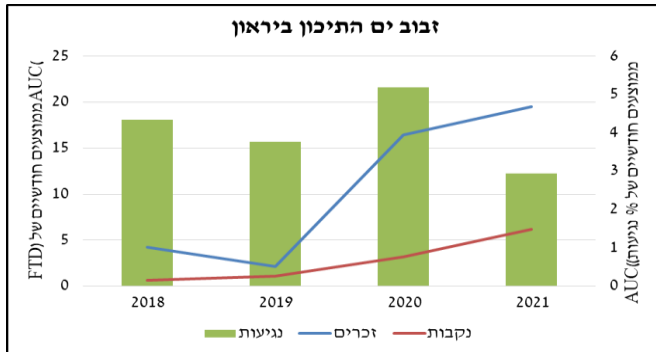
איור 12- השפעת קירור נקודות חמות בחלקה על

הפחתת ריסוסי תיגבור נגד זפי"ת במטע מנרה

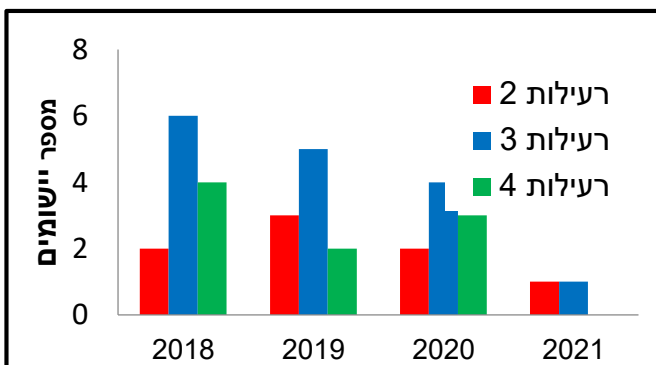


דוגמא נוספת ליעילות הטיפול נמצא בחלקות הזהוב ביראון בהן טיפלו בשנה זו בדקושילד. למרות אוכלוסיות זבוב משמעותיות (איור 13), השימוש בחומרים רעילים פחת באופן משמעותי (איור 14).

איור 13- התפלגות אוכלוסיות בוגרים של זפי"ת ורמת נגיעות בשנים 2018 - 2021



איור 14- השפעת טיפולי דקושילד להפחתת שימוש בתכשירי הדברה במטע זהוב, יראון 2018 - 2021



בדיקת נוטריינטים

במידות של רמות המיקרו והמקרו נוטריינטים בעלים נמצאו רמות גבוהות יותר באופן מובהק של בורון וברזל

בעלוות המוקדים החמים בתחילת העונה (טבלה 3). בורון ואשלגן נמצאו ברמות גבוהות יותר במוקדים החמים ביוני וברזל, חנקן וסידן נמצאו ברמות גבוהות יותר במוקדים הקרים ביולי. בורון נמצא ברמה גבוהה במוקדים חמים גם בשנת המחקר הראשונה. בפירות נמצאו הבדלים משמעותיים ברמת הנוטריינטים בין הנקודות החמות והקרות. רמות הנתרן והמגנזיום נמצאו גבוהות באופן מובהק בפירות במוקדים הקרים במאי, רמות הנחושת, הנתרן, והמגנזיום היו גבוהות המוקדים החמים ביוני בעוד רמות הבורון היו גבוהות יותר במוקדים הקרים.

טבלה 3: רמת המקרו והמיקרו נוטריינטים שנמצאו מובהקים סטטיסטית בעלים ובפירות (ממוצע ושגיאת תקן) במוקדים החמים והקרים. הבדל ברמת מובהקות של $P < 0.05$ לפי מבחן t.

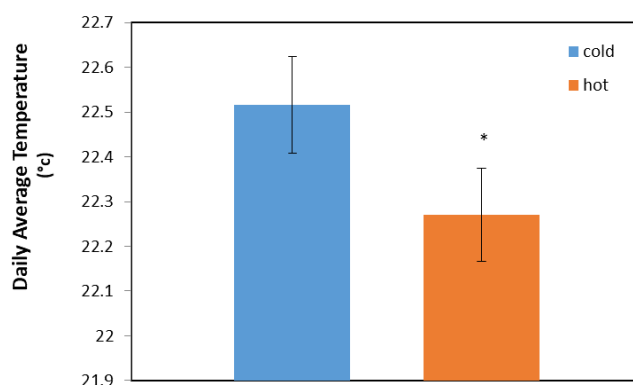
פירות			עלים				
יולי	יוני	מאי	יולי	יוני	מאי		
	33.12±3.1		73.7±3.5		78.62±2.22	מוקד חם	Fe mg/kg
	22.82±2.45		81.7±2.7		70.42±2.64	מוקד קר	
	22.31±6.41			30.3±1.34	31.12±0.32	מוקד חם	B mg/kg
	32.92±4.29			24.96±1.25	26.8 ±1.68	מוקד קר	
				1.54±0.14		מוקד חם	K %
				1.214±0.11		מוקד קר	

0.65±0.05	0.93±0.11	1.87±0.04	מוקד חם	N %
0.53±0.05	0.72±0.02	2.03±0.12	מוקד קר	
0.01±0.007		1.26±0.11	מוקד חם	Ca%
0.05±0.02		1.52±0.01	מוקד קר	
	0.014±0.00			Na %
	0.014±0.00			
	0.13±.03	0.09±0.00		Mg %
	0.07±.00	0.10±0.00		
0.07±0.00	0.13±0.02			P %
0.06±0.003	0.10±0.00			

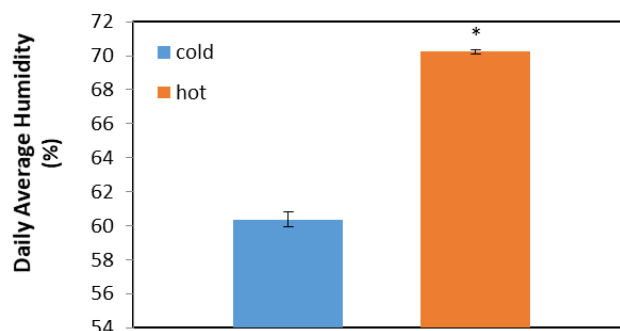
בחינת המיקרואקלים במוקדים החמים והקרים

מצאנו כי במוקדים החמים הטמפרטורה נמוכה יותר ולחה יותר בהשוואה למוקדים הקרים (איור 15 ו-16). כאשר שתי התוצאות מובהקות סטטיסטית.

איור 15- טמפרטורה יומית ממוצעת (ממוצע ושגיאת תקן) במוקדים חמים וקרים במשך שלושת החודשים כל עמדה מייצגת את הממוצע הרב עונתי של כל המוקדים ביחד. כוכביות מצינות הבדל מובהק בין המוקדים החמים והקרים ברמת מובהקות של $P < 0.05$ לפי מבחן t . $1000 = N$.

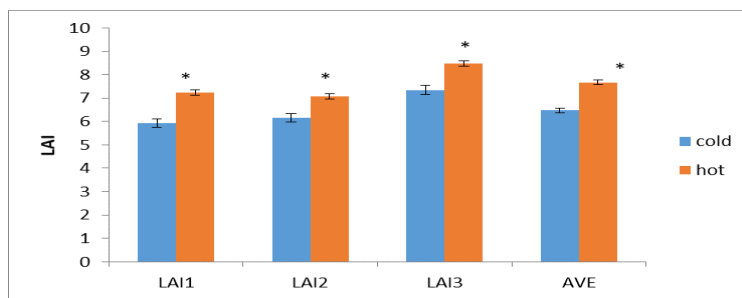


איור 16- לחות יומית ממוצעת בנקודות החם וקר (ממוצע ושגיאת תקן) במשך שלושת החודשים כל עמדה מייצגת את הממוצע הרב עונתי של כל הנקודות ביחד. כוכביות מצינות הבדל מובהק בין הנקודות החמות והקרות ברמת מובהקות של $P < 0.05$ לפי מבחן t . $1000 = N$.



צפיפות החופה בכל שלושת מועדי הדיגום הייתה גבוהה יותר במוקדים בחמים (איור 17) אך מובהקת סטטיסטית במועד השני והשלישי בלבד.

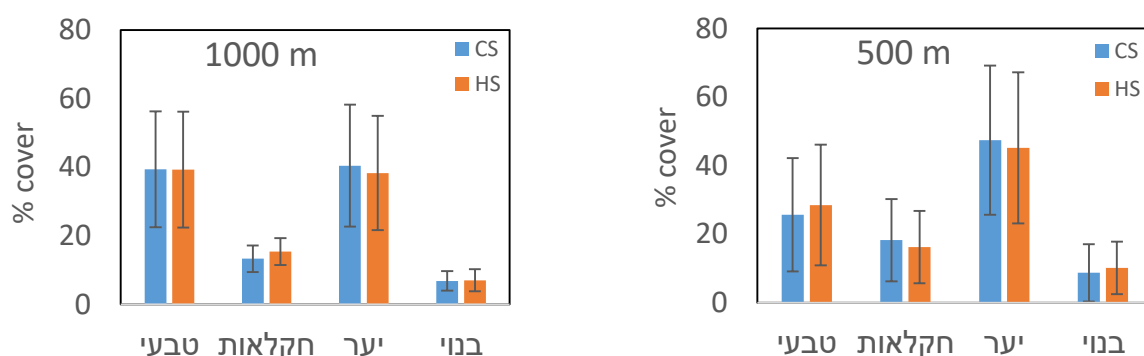
איור 17- צפיפות החופה בשלוש פרקי זמן, מאי (LAI1), יוני (LAI2) ויולי (LAI3) 2020, מ-5 מוקדים חמים וקרות. כוכביות מצינות הבדל מובהק בין הנקודות החמות והקרות ברמת מובהקות של $P < 0.05$ לפי מבחן t. $N = 50$



איפיון מרחבי של מיקום המוקדים החמים

שיאותרו באמצעי החישה

יער ושטח טבעי היו כיסויי הקרקע הנפוצים בסמוך למוקדים (איור 18). לא נמצאו הבדלים בהרכב הנוף בין המוקדים החמים והקרים ($p=0.999$).



איור 18- התפלגות כיסויי הקרקע במרחקים 500 ו-1000 מטרים מהמוקדים.

דיון כללי

התוצאות המחקר מראים כי הדפוסים שמצאנו בעבודתנו הקודמת עבור מוקדים חמים [1] ובשנת המחקר ראשונה ממשיכים להתקיים גם בעונת המחקר השנייה. אוכלוסיות הזבוב גדולות יותר במוקדים החמים והעלייה באוכלוסיות הזבוב במוקדים החמים מתרחשת לפני או מקביל להתפשטות לאזורים אחרים בחלקה וזה בא לידי ביטוי גם בנזק לפירות, שבמוקדים החמים היה גדול מהרבה מאשר הנזק שנגרם במוקדים הקרים. בבחינת המוקדים החמים בהשוואה למוקדים הקרים מצאנו מספר הבדלים.

בשנה המחקר הראשונה, נותחו דימוי לוויין Sentinel-2 המבוססים החזר ספקטראלי בתחום הנראה והא"א הקרוב וניכר היה כי אין הבדלים בערכי ה NDVI בין מוקדים חמים לקרים. שיערנו כי יתכן וזה נובע מכך שהרזולוציה המרחבית המתקבלת מהלוויין נמוכה מדי ואינה מאפשרת בחינה מדויקת של ההבדלים בין המוקדים. בשנים ב' ו-ג' התמקדנו בצילומי אוויר תרמיים באמצעות כטב"מ בעלי רזולוציה גבוהה ביחס לדימוי הלוויין כדי לבחון אם קיימים הבדלים בטמפרטורת העלווה. ההשערה שלנו הייתה, כי עלוות העצים במוקדים החמים תהיה בעלת טמפרטורה נמוכה יותר מזו של המוקדים הקרים. טמפרטורת עלווה נמוכה היא אינדיקציה לתנאי סביבה נוחים לזבוב. מתוצאות השנה השלישית נראה כי לא קיימים הבדלים בטמפרטורה של העלווה בין המוקדים החמים לקרים. ביחס לגודל החופה כפי שהוערך מהצילומים התרמיים, נראה כי בברעם 2 היכן שההבדלים בלכידות ובנגיעות בין המוקד החם לקר היו גדולים, נמצאו גם הבדלים בגודל החופה. גדול החופה בעצים במוקד החם היה גדול יותר מהעצים במוקד הקר בשלושה מתוך 4 מועדי צילום. לעומת זאת, במוקדים בהם ההבדלים בלכידות ובנגיעות בין המוקדים החמים והקרים היו קטנים יותר, לא נמצאו הבדלים בגודל החופה. גם אם אכן קיימים הבדלים

אלו בפועל, כלומר שחופת העצים במוקדים החמים צפופה וגדולה יותר (למשל על פי מדידות LAI ישירות) נראה כי לא ניתן יהיה לאתר אותם באמצעות צילומים תרמיים באתרים בהם ההבדלים בין המוקדים קטן. יתר על כן, נראה כי ההבדלים הם מאוד קטנים וצריך יהיה לבחון בצורה יותר מעמיקה אם אכן הבדלים אלו גורמים לזבוב לבחור במוקדים החמים או שהסיבה נעוצה בגורם אחר.

מבחינה ספקטרלית בטווח הקרוב בשנת המחקר הראשונה מצאנו כי במועד הראשון לא ניתן היה להפריד בין מוקדים חמים וקרים לא בעלים ולא בפירות. במועד השני לא ניתן היה להפריד בין מוקדים חמים וקרים בעלים, אך התקבלו דיוקים בינוניים בהפרדה בין פירות. במועד השלישי, התקבלו דיוקים בינוניים בעלים ודיוקים גבוהים יותר בפירות. בשנת המחקר השנייה, בכל המועדים, הדיוק והאמינות היו גבוהים מ-75%. תוצאות אלו מצד אחד יכולות להצביע על הבדל ספקטראלי גדול יחסית בין עלים ממוקדים חמים וקרים. מצד שני, יכול להיות שהדיוק הגבוה נבע מסדרת העקומים הגדולה (פי 4) ממספר דגימות העלים בפועל. יתכן שכדי לבחון האם יש הבדלים ספקטראליים משמעותיים בין עלים ותפוחים ממוקדים שונים צריך לבצע דיגום גדול הרבה יותר. נראה כי בעלים אולי הדבר אפשרי, בפירות, לא ניתן יהיה לדגום בכל מועד 200 תפוחים משני מוקדים. בבדיקות ספקטראליות של ערכי כלורופיל וסוכרים מצאנו שבניגוד להשערה, לא קיימים הבדלים במדדים אלו בין פירות ממוקדים חמים לקרים. מצאנו התאמה מלאה בשנת המחקר הראשונה והשנייה מבחינת מתאם בין התוצאות של מדידת שטח העלווה (LAI), הטמפרטורה והלחות. הטמפרטורה הייתה נמוכה יותר ולחה יותר במוקדים החמים. נתונים אלו דומים לממצאיהם של [15] שמצאו שתוחלת החיים של הזפי"ת (זכרים והנקבות) נפגעת בטמפרטורות גבוהות. הטמפרטורות שנמצאו ניתנות להסבר עם מדדי העלווה (LAI) המצביעים על כך שהנקודות החמות הן מוצלות יותר. תוצאות הדיגום בשנה הראשונה והשנייה מצביעות על כך, שאכן יש הבדלים בתכולת הנוטריינטים בין המוקדים החמים והקרים. הבדלים אלו ניכרים בעיקר בפירות שהם האיבר בו נקבות הזבוב מטילות את ביציהן. הבדלים אלו יכולים להסביר חלק מהשונות המרחבית בצפיפות הזבובים, כאשר במוקדים החמים תכולת הנוטריינטים ובעיקר החנקן, הזרחן והמגנזיום בפירות הייתה גבוהה מעט אך מובהקת סטטיסטית מאשר בפירות שנמצאו במוקדים הקרים. תוצאות אלו תואמות את הידוע לגבי הביולוגיה של הזבוב. הרימות ניזונות על הפירות וסביר שנקבות הזבוב תבחרנה את המזון האופטימאלי לצאצאיהן. יש מחקרים המראים שדישון חנקני ברמה גבוהה יכול למשוך מגוון של מזיקים שונים בפרדסים ובגידולים אחרים [16–18]. זה תומך בממצאינו, אך יש צורך לבחון את המנגנון על מנת להבין כיצד כל נוטריינט משפיע על כל מזיק בכל מזיק ובכל צמח פונדקאי. ניכר כי עיקר הבדלים בפירות בין הנקודות החמות והקרות ברמות של נדיפים מתקיים בעיקר ביוני בשתי שנות המחקר הראשונות. ניתן לראות שההבדלים הללו משתנים לאורך זמן, תלוי במועד בעונה. בדומה לתוצאותינו גם מחקרים אחרים מצאו שהריח האופייני של עלים ירוקים המגיע מ E-2-hexenal ו Z-2-hexanol נמצא כמושך מזיקים שונים וביחוד מסגרות הפרפראיים, הדבוראיים והזבובאיים [19–21]. תוצאות שנת המחקר השנייה תואמות את הממצאים שמצאנו בשנת המחקר הראשונה ומחזקים את ההיפותזה שכנראה יש הבדלים בין העצים בנקודות החמות והקרות שבאים לידי ביטוי בנדיפים מהפירות.

מבחינת ממשק אפשרי, בשנת המחקר הראשונה בחנו את ההשפעה של "קירור" מוקדים חמים ומצאנו כי השימוש בתכשיר "דקושיילד" הפחיתו מאד את רמת הנגיעות הפירות המטופלים ולמעשה קררו את המוקד החם. התוצאות במבחן המעבדה ובניסויי שדה חיזקו את הפוטנציאל הגלום בטיפול אלטרנטיבי זה לשנים הבאות. הניסויים שבוצעו בשנים ב' ו-ג' מחזקים את התוצאות שהתקבלו בשנת המחקר הראשונה. גם בשנה זו טיפולי

ההלבנה ב"דקושילד", בעזרת רובים, נתנו הגנה טובה מאד לפירות הזהוב ורמת הנגיעות הייתה מינימלית. קירור הנקודה החמה במועד מוקדם הוביל לקירור הנקודה ללא צורך לטפל בכל החלקה. אסטרטגיה זו תאפשר לטפל רק במקומות הנדרשים תוך הפחתה משמעותית בכמות חומרי ההדברה המיושמים במטע, ויוביל לממשק של חקלאות מדויקת.

היכולת לזהות את ההבדלים בין הפירות במוקדים החמים לבין אלו במוקדים הקרים תוכל לסייע בעתיד במציאת שיטה לזיהוי מוקדם של מוקדים אלו. לסיכום התוצאות מבטיחות בכך שיש הבדלים משמעותיים בין המוקדים החמים לקרים. אנו ננהל שנה נוספת של דיגום כדי לאמת את הנתונים.

תודות

תודה לעופר אידלין-הררי על עיבוד הנתונים והניתוח הסטטיסטי בניסויים שבחנו את השפעת קירור המוקדים החמים.

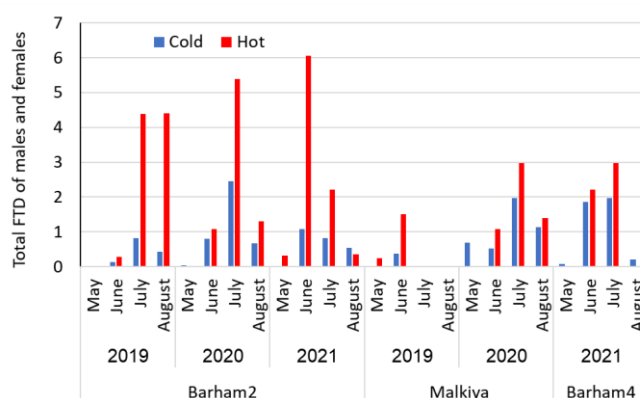
רשימת ספרות

1. Mendelsohn O, Dayan T, Aidlin-Harari S, Silberstein M, Orlov V, Blank L. Mediterranean fruit fly subplot hot spots prediction by experts' experience. J Appl Entomol. 2018;142: 371–379.
2. Maeda T, Kishimoto H, Wright LC, James DG. Mixture of synthetic herbivore-induced plant volatiles attracts more *Stethorus punctum picipes* (Casey)(Coleoptera: Coccinellidae) than a single volatile. J Insect Behav. 2015;28: 126–137.
3. Pichersky E, Noel JP, Dudareva N. Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity. Science. 2006;311: 808–811.
4. Jaworski T, Hilszczarński J. The effect of temperature and humidity changes on insects development their impact on forest ecosystems in the expected climate change. For Res Pap. 2013;74: 345–355.
5. Boyd LA, Ridout C, O'Sullivan DM, Leach JE, Leung H. Plant-pathogen interactions: disease resistance in modern agriculture. Trends Genet. 2013;29: 233–240.
6. Maes WH, Steppe K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. Trends Plant Sci. 2019;24: 152–164.
7. Mahlein A-K, Oerke E-C, Steiner U, Dehne H-W. Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. Eur J Plant Pathol. 2012;133: 197–209.
8. Payne AB, Walsh KB, Subedi PP, Jarvis D. Estimation of mango crop yield using image analysis–segmentation method. Comput Electron Agric. 2013;91: 57–64.
9. Field SA, Kaspi R, Yuval B. Why do calling medflies (Diptera: Tephritidae) cluster? Assessing the empirical evidence for models of medfly lek evolution. Fla Entomol. 2002;85: 63–72.
10. Shelly TE. Exposure to α -copaene and α -copaene-containing oils enhances mating success of male Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae). Ann Entomol Soc Am. 2001;94: 497–502.
11. Shelly TE, Villalobos EM. Host plant influence on the mating success of male Mediterranean fruit flies: variable effects within and between individual plants. Anim Behav. 2004;68: 417–426.

12. Rotbart N, Schmilovitch Z, Cohen Y, Alchanatis V, Erel R, Ignat T, et al. Estimating olive leaf nitrogen concentration using visible and near-infrared spectral reflectance. *Biosyst Eng.* 2013;114: 426–434.
15. Shoukry A, Hafez M. Studies on the biology of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*. *Entomol Exp Appl.* 1979;26: 33–39.
16. Olson DM, Cortesero AM, Rains GC, Potter T, Lewis WJ. Nitrogen and water affect direct and indirect plant systemic induced defense in cotton. *Biol Control.* 2009;49: 239–244.
17. Yokoyama VY, Miller GT. Stone fruit foliar nitrogen and extrafloral nectar in relation to cigarette beetle (Coleoptera: Anobiidae) growth on the leaves. *J Econ Entomol.* 1989;82: 1675–1678.
18. Veromann E, Toome M, Kännaste A, Kaasik R, Copolovici L, Flink J, et al. Effects of nitrogen fertilization on insect pests, their parasitoids, plant diseases and volatile organic compounds in *Brassica napus*. *Crop Prot.* 2013;43: 79–88.
19. Piñero JC, Dom S. Synergism between aromatic compounds and green leaf volatiles derived from the host plant underlies female attraction in the oriental fruit moth. *Entomol Exp Appl.* 2007;125: 185–194.
20. Reddy GVP, Guerrero A. Behavioral Responses of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella*, to Green Leaf Volatiles of *Brassica oleracea* Subsp. *c. capitata*. *J Agric Food Chem.* 2000;48: 6025–6029.
21. Zheng LX, Wu WJ, Fu YG. (+/-)-2-Hexanol from *Pterocarpus indicus* leaves as attractant for female *Aleurodicus dispersus* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Afr Entomol.* 2014;22: 267–272.

נספחים

נספח 1. סכום לכידות חודשי של לכידה/ליום/למלכודת במוקדים החמים והקררים, באתרי הצילום, ברעם 2, מלכיה וברעם 4, בשנים 2020 ו- 2021.



נספח 2. סכום נגיעות חודשי במוקדים החמים והקררים, באתרי הצילום, ברעם 2, מלכיה וברעם 4, בשנים 2020 ו- 2021.

