

דוח שנתי 2018 +תוכנית עבודה ל2019

ד"ר דן מלקינסון^{1,3}, פרופ' עדו יצחקי², ד"ר אנה ברוק³, קרן סלינס³, ד"ר מוטי צ'רט^{1,3}
¹מכון שמיר למחקר

² החוג לביולוגיה אבולוציונית, אוניברסיטת חיפה

³ החוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה



הוגש ל:

דוח שנתי 2018: ניטור, מעקב ואומדן נזקי מכרסמים בשדות אספסת בעמק החולה באמצעות רחפנים

1.מבוא

יבולים חקלאיים מושפעים ממגוון גורמים כמזג אויר, דישון, השקיה וכו' [1]–[3]. בין הגורמים ישנם גם נזקי המכרסמים [4]. ניטור של אוכלוסיות המכרסמים, מאפשר טיפול הדברתי יעיל וצמצום נזקיהם של המכרסמים לחקלאות, ובכך להגדיל את התפוקה החקלאית ביחס לחלקת אדמה. אך על מנת לעקוב אחר אוכלוסיות של מכרסמים ולדעת את מקומם, יש צורך בלכידת המכרסמים, דבר הדורש מאמץ רב. השיטות הקיימות היום ללכידה ומעקב אחר פעילות מכרסמים, דורשות הוצאות ראשוניות גבוהות, תחזוקה שוטפת, זמן וכוח אדם רב.

נברנים, הינם מזיקים נפוצים בשדות חקלאיים בכל העולם [6], [5]. בישראל, נברן השדה (*Microtus socialis guentheri*), נחשב למכרסם העיקרי שמזיק לשדות החקלאיים [8], [7]. לנברנים ישנה היכולת ליצור מערכות מחילות, שלעיתים יכולות לכלול אלפי פתחי מחילות בדונם המספקות לנברנים מסתור [9], [10]. יתרה מזאת, יכולת הריבוי הטבעית של הנברנים גבוהה עקב בגרות מינית מוקדמת, הריון קצר (כ- 21 שבועות) ושגרים גדולים (5-6 ולדות בממוצע) [11], [12]. לאורך השנה, ישנן תנודות טבעיות בגודל אוכלוסיות הנברנים, המביאה לעיתים להתפרצות של אוכלוסיית הנברנים. בהתפרצות שכזו, הנזקים לשדות החקלאיים יכולים להיות גבוהים מאוד [14], [13], [7], [6].

עד היום, כדי לאמוד את גודל אוכלוסיית הנברנים במקומות שונים, נערכו בארץ מספר מחקרים בהם נספרו מחילות ופוזרו מלכודות [15], [12], [9], והתבצעו גם שיטות עקיפות לאומדן גודל האוכלוסייה כחקר תזונת התנשמות, נבדקו גם כן [16].

ישנן כמה שיטות המיושמות כיום לשליטה על אוכלוסיות מכרסמים, העיקרית מביניהן נעשית ע"י שימוש במדבירים כימיים [17], [5]. השימוש ברעלנים יכול להיות יעיל, אך גם בשיטה זו ישנן עלויות גבוהות, ובמקרים מסוימים, יעילות החומרים יורדת עקב פיתוח עמידות של חיות המטרה [20]–[18]. בנוסף, ישנם רעלנים מסוימים, שמועברים מפגרי מכרסמים לטורפיהם (הרעלה משנית) [21]. בארץ מותר השימוש ברעלן ראש 80 בלבד, רעלן המבוסס פלורצטט הנתרן (Sodium Fluoroacetate) [22]. למרות שלא נמצאה עדות לכך שהוא גורם להרעלות משניות בטורפים, הוא נמצא כרעיל מאוד לבני אדם, בעיקר מכיוון

שלא קיים נוגדן ואין טיפול יעיל בעת הרעלה. עקב כך, השימוש ברעלן זה אסור במדינות רבות. יתרה מזאת, עלות רעלן זה גבוהה ופיזורו מותר אך ורק בתוך מחילות המכרסמים, כך שעלויות הפיזור שלו בשדה גבוהות גם הן.

שיטה הדברה נוספת שנוסתה היא הצפת השדות על ידי מערכות השקיה קו-נוע [13]. אמנם נמצא שלאחר ההצפות, מספר הנברנים בשדה ירד, אך יחד עם זאת, בעיית הנברנים באותם השדות לא נפתרה.

ניתן לעודד טריפת מכרסמים ע"י טורפים טבעיים [23]. אחת השיטות היעילות בארץ ובעולם לעידוד טריפה, היא הדברה ביולוגית של מכרסמים, ע"י שימוש בתיבות קינון של דורסים [25], [24], [18]. מיני המטרה העיקריים, המאכלסים את תיבות הקינון, הם בזים ותנשמות, זאת מכיוון שביסוסם בתיבות קינון קלה יחסית והיכולת שלהם לצוד כמות טרף גדולה בפרק זמן קצר לאורך עונת הקינון, תורמת לוויסות אוכלוסיות הנברנים וליצירת לחץ טריפה מאסיבי [28]–[26], [9]. בנוסף לשימוש בתיבות קינון ככלי להדברה ביולוגית, טורפים טבעיים אחרים של נברנים עוזרים בהעלאת לחץ הטריפה וויסות מיני מכרסמים בשדות חקלאיים.

במאבק המתמשך להפחתת נזקי הנברנים בשדות החקלאיים, החקלאיים מבצעים את הדברת המכרסמים כיום בחודשי האביב, עם תחילת הקציר בשדות. בגידולים מסוימים, כגון האספסת, בתחילת עונת הקציר, מציפים את השדות וכתוצאה, ככל הנראה, מספר הנברנים יורד. תוצאות ראשוניות ממחקר שערך ד"ר מוטי צ'רטר, הראו שמספר הנברנים בתחילת החורף, גדול משמעותית ממספר הנברנים בתחילת האביב (גרף 1). ההנחה היא, שמספר הנברנים עולה בחורף כאשר השדות לא מוצפים ונקצרים, ובתחילת האביב, עקב הצפות וטריפה של אויבים טבעיים, מספרם יורד משמעותית. לכן, יש לרכז את המאמץ בטיפול נזקי הנברנים בחורף, הן כדי לצמצם את הנזק שיגרם אם תהיה התפרצות הנברנים והן כדי לפגוע בנברנים עת התחילו הבוגרים את מחזורי הרבייה שלהם.

כאמור, כדי לטפל בנברנים יש לאתר אותם, אך ישנה בעייתיות במציאת שטחי המחיה של נברנים בשדה. הנברנים חיים ב"כתמים" ("hot spots") בשדה, ובאזורים אלה הם חופרים את רשת המחילות שלהם. לאחר זמן מה בשדה, הנברנים יוצרים עוד ועוד פתחי מחילות בשדה, דבר היוצר "קרחות" הנראות לעין. עד שהחקלאיים מבחינים בנזקים הנראים לעין, אוכלוסיית הנברנים מספיקה להתבסס ולגדול בשדה, תוך יצירת נזקים כבדים. במידה ונצליח לאמוד את טיב היבול לפני הופעת הקרחות והתבססות הנברנים בשדה, נוכל למנוע את גדילת אוכלוסיות הנברנים, ע"י פעולות מנע מקדימות ומיקוד הטיפול המונע בנקודות ספציפיות בהן ידועה נוכחות נברנים.

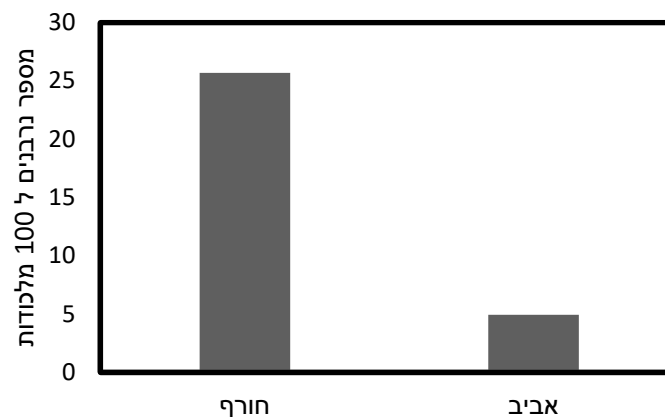
טיפול מנע מקדים בנברנים הוא בעל יתרונות מובהקים. ניטור יעיל של אזורי התפוצה של הנברנים והדברה יעילה באזורים אלה יכול להביא לחיסכון במים, שהינו משאב מוגבל בעבור חקלאי הארץ ובנוסף, לצמצום את השימוש ברעלנים ומדבירים כימיים כחלק מתפיסה כלל עולמית במעבר לגידולים אורגניים, תוך שמירה על רמה גבוהה באיכות, עלייה בכמות הגידולים וצמצום השטחים הטבעיים המשומשים לחקלאות. לכן, במחקר זה, אנחנו מציעים שימוש בטכנולוגיות של חישה מרחוק, בדגש על מדד ה-NDVI (Normalized difference vegetation index) [29], [30] וטכניקות עיבוד תמונה נוספות, כדי לאתר את אותם אזורי ריכוז של הנברנים הפעילים בשדה.

מדד ה-NDVI, מדד לניתוח תמונות חישה מרחוק, נמצא במחקרי חקלאות כבעל קשר לפרמטרים שונים; נמצא כי יש קשר בין מדד ה-NDVI, שהתקבל מצילומי לוויין, לבין איכות היבול בשדות חקלאיים [31]. במחקר נוסף, נמצא קשר חזק בין גובה האספסת למדד ה-NDVI, עד לגובה של 45 ס"מ [32], גם שינויים

עונתיים בגודל ותפוצת מכרסמים נמצאו בקשר למדד ה-NDVI [33],[34], אך עדיין אין מחקר שהראה שהאזורים הספציפיים בשדות חקלאיים הסובלים מנזקי מכרסמים, מראים גם הם קשר למדד ה-NDVI. זאת, לפי השערתנו, משום שהנתונים במחקרים הנ"ל התקבלו מלוויינים ברזולוציה מרחבית נמוכה.

כדי להתגבר על מכשול זה, ניתן להשתמש ברחפנים, המצוידים במצלמות ובחיישנים ברזולוציה מרחבית גבוהה [35],[36], כדי לבדוק את מדד ה-NDVI בשדות חקלאיים. ישנו יתרון נוסף לשימוש ברחפנים בכך שפשוט וקל לבדוק שדה ספציפי מספר פעמים, כדי לבחון שינויים באותם אזורים בדיוק [37]. בהשוואה לשימוש בלוויינים ומטוסים בעלי יכולת צילום ברזולוציה מרחבית גבוהה, השימוש ברחפנים מספק נתונים באיכות דומה, אמנם בזמן ארוך יותר, אך בעלויות נמוכות בהרבה [36]. נכון להיום, לא נעשה שימוש ברחפנים כדי לאמוד ולנטר אוכלוסיות מכרסמים בשדות חקלאיים.

במחקר זה, אנחנו בוחנים שימוש לראשונה ברחפנים ושיטות של חישה מרחוק כדי לנטר, לעקוב, ולאמוד נזקים של מכרסמים בשדות החקלאיים של עמק החולה. נערוך השוואה בין מדדים שיתקבלו מצילומי הרחפן לממצאים שיתקבלו מעבודת שטח כגון מספר מחילות נברנים, איכות יבול של אספסת וכמות מכרסמים בשדה.



גרף 1: השוואה בין מספר הנברנים שנתפסו ב-9 שדות אספסת ב-2 עונות: חורף ואביב. מספר הנברנים שנתפסו לפני תחילת הקציר והצפות השדה (בחורף), גבוה ממספר הנברנים שנתפסו אחרי תחילת הקציר. נתונים: ד"ר מוטי צ'רטור

2. מטרות

אנו מציעים לראשונה שימוש ברחפנים לצורכי ניטור וויסות של אוכלוסיית הנברנים בשדות החקלאיים של עמק החולה. באמצעות טכנולוגיית מיפוי בעלת סף רגישות ודיוק גבוה. אנו מעוניינים לפתח יכולות איכון של נברנים בשדות החקלאיים, זאת לשם יישום הדברה ייעודית נקודתית בזמן שאוכלוסיית הנברנים מצויה עדיין במספרים נמוכים. בשלב במחקר בראשוני הצבנו לנו את היעדים הבאים:

- בניית בסיס נתונים ראשוני לקבלת אומדן לגודל ואזורי תפוצת המכרסמים בשדות הנחקרים.
- אומדן נזקי מכרסמים בשדות אספסת ע"י השוואת מספר מחילות הנברנים, כמות יבול האספסת וגודל אוכלוסיות המכרסמים למדדי טיב צמחיה שחושבו מצילומי רחפן.
- בחינת יכולת המיפוי של מוקדי פעילות הנברנים (hotspots) באמצעות רחפנים.

- למידת דינמיקת אוכלוסיות הנברנים בעמק החולה במטרה לקבוע את העונה היעילה ביותר להתחלת הדברתם.

3. שיטות וחומרים

המחקר נערך בעמק החולה [33°70'N, 35°35'E, רום מעל פני הים ממוצע 72.3 מ', ממוצע משקעים שנתי 585 מ"מ וממוצע טמפרטורה יומית מקסימלית 25.8° (נמדד מה 1- לדצמבר עד ה 31 ליולי)] (השירות המטאורולוגי הישראלי), ב-9 שדות אספסת שונים. כל שדה חולק ל-8 חלקות בגודל של 100 מ"ר במרחק של 50 מטר אחת מהשנייה. כל שדה נבדק לפחות פעם אחת, כאשר מספר שדות נבדקו מספר פעמים. סך הכול נבדקו 112 חלקות. את אופן הפעולות ומדידות השונות למחקר ביצענו כדלהלן:

• ספירת מחילות

בכל חלקה, עברנו עם מקל מדידה באורך של מטר ויצרנו 5 רצועות (סטריפים) של 10X1 מטר. בכל סטריפ נספרו מספר מחילות הנברנים, כאשר אזורי ריכוז גבוהים של מחילות, סומנו בדגלים (2 אזורים בכל חלקה). בחלקות בהן לא נמצאו מחילות, סימנו בדגלים אזורים שנבחרו אקראית. מספר המחילות יהווה מדד בסיסי להשערת גודל אוכלוסיות הנברנים בחלקה. כמו כן, נשתמש בנתון זה, כדי להשוות אותו לצילומי הרחפן, שבאמצעותם ננסה לפתח שיטה לאומדן מספרי מחילות בשדה.

• פיזור מלכודות ולכידת מכרסמים

לאחר ספירת המחילות, באזורים המסומנים (איפה שנמצאו ריכוזי מחילות), פיזרנו 20 מלכודות הצמד (10 מלכודות בכל אזור מסומן), שמוקמו על שבילי הדרך שיצרו מכרסמים, במטרה ללכוד כמה שיותר נברנים. ההערכה היא שבחלקה בה היו מספר מחילות גבוה, ילכדו יותר נברנים. באזורים שלא היו בהם מחילות והיה קושי למצוא שבילי מכרסמים, המלכודות פוזרו בצורה אקראית.

כל המכרסמים שנלכדו במלכודות ההצמד, סווגו למין המכרסם, נקבע הזווית, נבדק הריון לנקבות (על בסיס הסתכלות חיצונית) ונלקחו מדדי גוף (משקל, אורך ואורך גפיים).

• מדידת יבול אספסת

בכל חלקה, לאחר הוצאת המכרסמים והמלכודות, נדגמו באזורים המסומנים, 2 מ"ר (1 מ"ר בכל אזור מסומן) של אספסת. את היבול הנקצר, הכנסנו לשקיות נייר נפרדות, שקלנו כל שקית ולאחר מכן, הכנסנו את היבול לתנור למשך 48 שעות בטמפרטורה של 105 מעלות צלזיוס. לאחר הייבוש, יבול האספסת נשקל שוב וחישובו את אחוז החומר היבש והרטוב מכל חלקה. נתון זה יהיה בסיס להשערת טיב היבול בכל חלקה ובאמצעות השוואתו למספר המחילות ולמדדים שחושבו מצילומי הרחפן, ננסה להראות פגיעה באיכות היבול כאשר מספר המחילות והמדדים מעידים על נוכחות נברנים.

• צילומי רחפן וחישוב מדדי צמחיה

בכל שדה העלנו רחפן מדגם DJI Phantom 4 בעל חיישן 1.2 MP Sentera NDVI Single upgrade Sensor. את התמונות מהרחפן מיינו לפי חלקה, יצרנו פסיפס (מוזאיקה) של תמונות חופפות באזורי החלקות באמצעות תוכנת ArcMap ועשינו להן ניתוח ספקטרוסקופי באמצעות תוכנת ENVI, שבאמצעותה הצלחנו לחשב 2 אינדקסים של צמחיה NDVI ומודל לחישוב ביומסה שפותח במעבדה לחישה מרחוק וספקטרוסקופיה באוניברסיטת חיפה. (איורים 1 ו-2). באמצעות תוכנת ENVI, התקבלו הערכים של 2 המדדים הנ"ל.

• ניתוחים סטטיסטיים

4. תוצאות

• מספר מחילות

בכל חלקה נספרו מחילות וניתן לראות שבשדות בהם היה ממוצע מחילות גבוה, נמצאו יותר נברנים (גרף 2). השערתנו גורסת, שככל שיהיו יותר מחילות, יהיו יותר נברנים. ואכן, בבדיקה שנערכה, נמצא מתאם חיובי בין 2 המדדים וככל שהיו יותר מחילות, מספר הנברנים עלה בהתאם, יחד עם זאת, ככל שמספר המחילות עלה, מספר העכברים שנתפסו, ירד (גרף 3). ברוב החלקות, נספרו עד 25 מחילות, כאשר בחלקה אחת נספרו 122 מחילות (גרף 5). כמו כן, נמצא מתאם שלילי בין מספר המחילות לכמות היבול (גרף 4), למדד ה-NDVI (גרף 6) ולביומסה (גרף 7).

• לכידת מכרסמים

סה"כ נתפסו 291 מכרסמים בשדות האספסת בעמק החולה. מתוכם 159 נברנים ו-130 עכברים. כמו כן, נתפסו 2 פרטים של מכרסמים אחרים- מריון מצוי וחדף. כשמספר הנברנים בשדה היה גבוה, מספר העכברים בשדה היה נמוך וההפך (גרף 2).

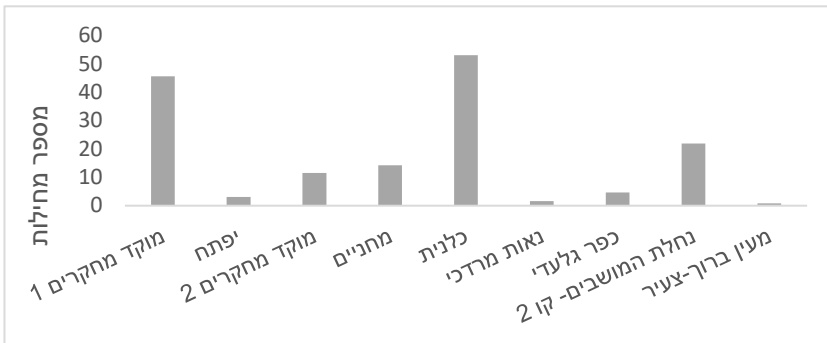
א יבול אספסת

בשיטה זו נבדקו 2 מדדים: כמות האספסת בכל חלקה ואחוז החומר הרטוב ביבול שנאסף (גרף 10). בנוסף, נמצא קשר חיובי חלש בין מדד ה-NDVI לאחוז החומר הרטוב בצמחים (גרף 11) ונמצא קשר שלילי בין כמות היבול למספר הנברנים (גרף 12).

ב

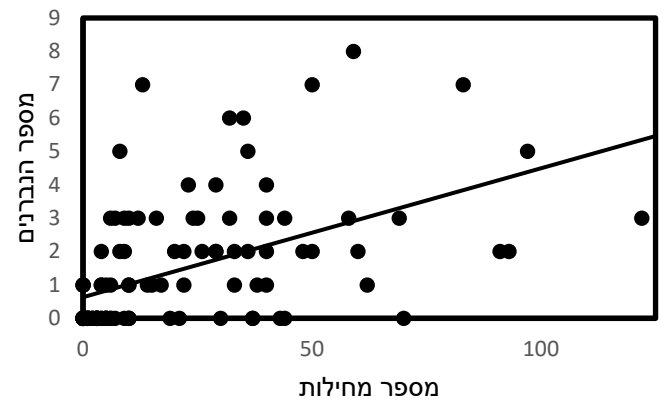
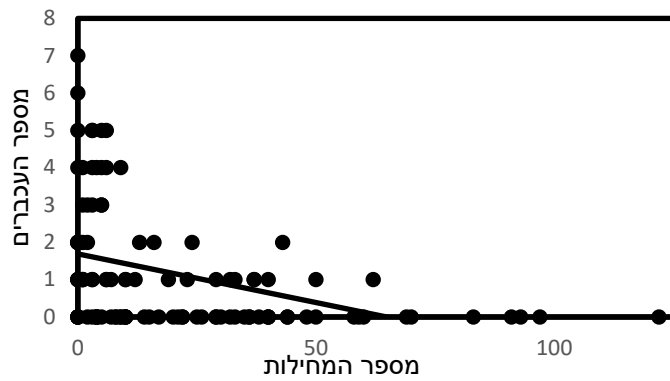
• צילומי רחפן וחישוב מדדי צמחיה

מדדים אלה, נותנים אומדן לטיב היבול. ככל שהערך של המדד גבוה יותר, כך טיב היבול עולה. נבחנו 2 מדדי צמחיה: NDVI שערכיו נעים בין 0-1 ומדד ביומסה שערכיו נעים בין 0-70 (אזור 1 ו-2). בתוצאותינו, התקבלו קשר שלילי למספר המחילות (גרף 6 וגרף 7) וקשר חיובי לכמות היבול (גרף 8 וגרף 9).



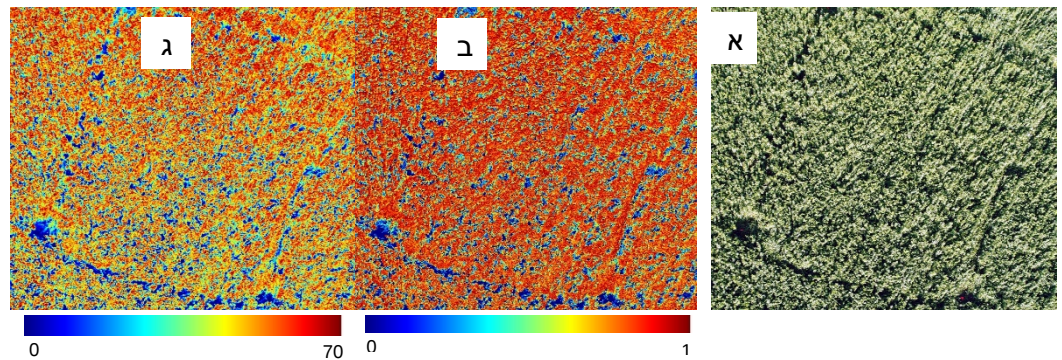
גרף 2: ממוצע המחילות (א) והמכרסמים שנתפסו (ב) בכל שדות האספסת שנבדקו. (N=112)

המחילות (גרף 6 וגרף 7) וקשר חיובי לכמות היבול (גרף 8 וגרף 9).

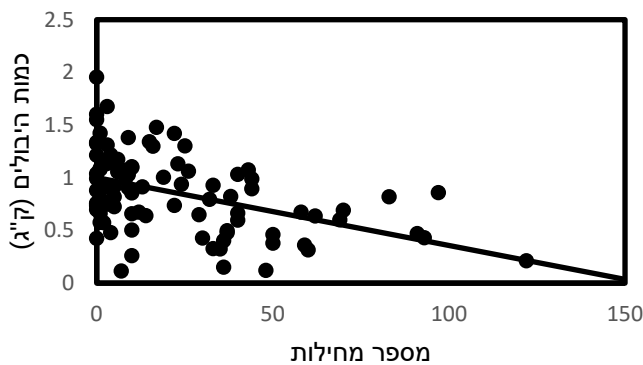
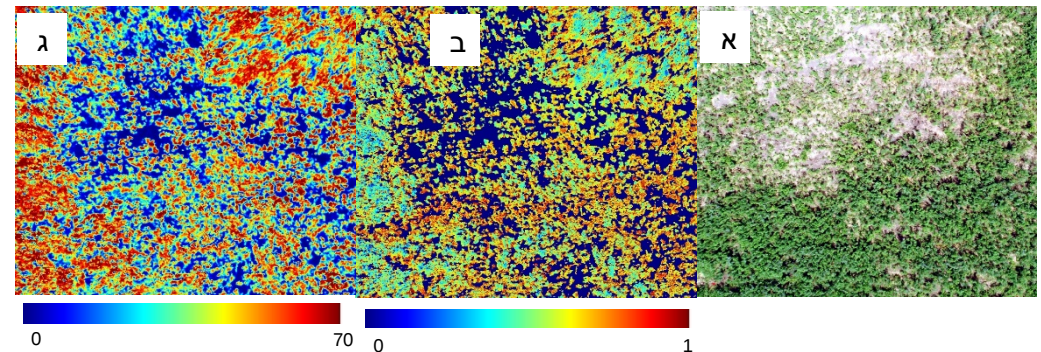


גרף 3: הקשר בין מספר המחילות למספר הנברנים (א) ולמספר העכברים (ב) ($p < 0.05$, $F = 4.52$) ($N = 112$) ($p < 0.001$, $F = 21.79$)

איור 1:
(א) צילום שהתקבל מרחפן של חלקת אספסת בריאה (ללא נזקי נברנים).
(ב) מציגה את תמונה ה-NDVI ערכי התפלגות ערכי ה-NDVI ותמונה (ג) את הביומסה. מספר מחילות: 0.
כמות יבול: 1.95 ק"ג
ערך NDVI ממוצע: 0.82
ערך ביומסה ממוצע: 59.15



איור 2:
(א) צילום שהתקבל מרחפן של חלקת אספסת פגועה. (ב) מציגה את תמונה ה-NDVI ערכי התפלגות ערכי ה-NDVI ותמונה (ג) את הביומסה. מספר מחילות: 97.
כמות יבול: 0.85 ק"ג
ערך NDVI ממוצע: 0.57
ערך ביומסה ממוצע: 32.48

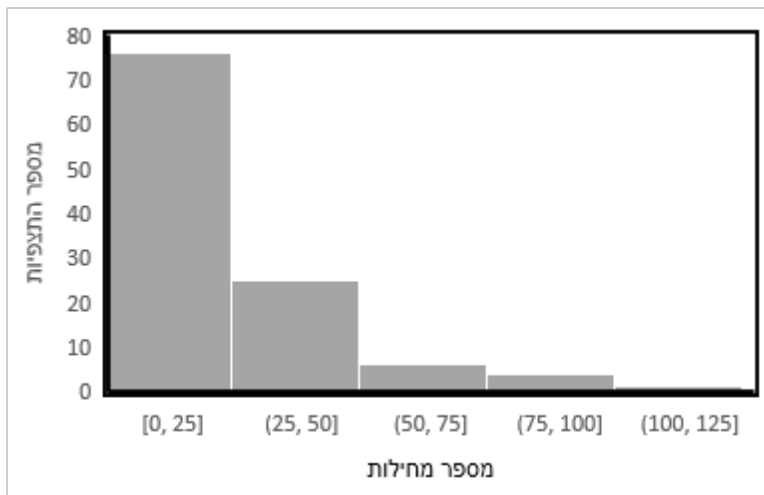


גרף 4: הקשר בין מספר המחילות לכמות היבול ($N = 92$, $p < 0.001$)

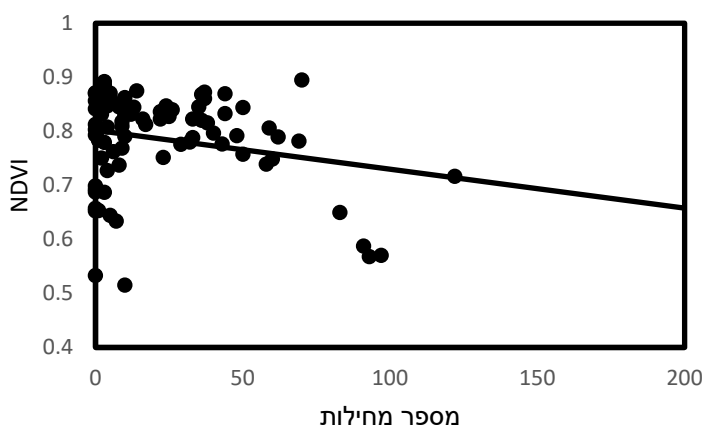
5. דיון ומסקנות

במחקר זה, זו הפעם הראשונה, שנבדקה היכולת לזהות נזקי מכרסמים על בסיס צילומי רחפן. אמנם בעבר השתמשו בשיטות של חישה מרחוק ככלי לאומדן טיב יבול חקלאי [38] וחזיון של כמות היבול [39] על בסיס מדדי צמחיה שמחושבים מצילומים, אך יחד עם זאת, ניטור, מעקב ואומדן נזקי מכרסמים עוד לא נבדקו בשיטה זו.

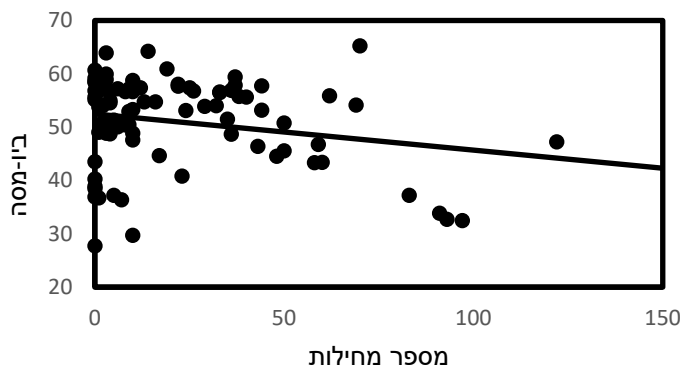
בחנו את הקשר שבין מדדי הצמחייה, לממצאים שנאספו בשטח. תוצאותנו מראות שלמדדי הצמחייה, נמצא קשר בעל מובהקות סטטיסטית לממצאים מהשטח.



גרף 5: התפלגות מספר המחילות רגל החלקות (N=117)



גרף 6: הקשר בין מספר המחילות למדד ה-NDVI (N=85, $p < 0.001$, $F=5.84$)

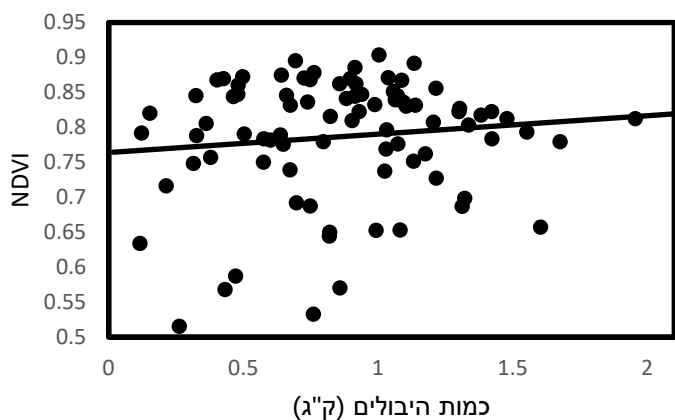


גרף 7: הקשר בין מספר המחילות למדד הביומסה (N=85, $p < 0.001$, $F=4.4$)

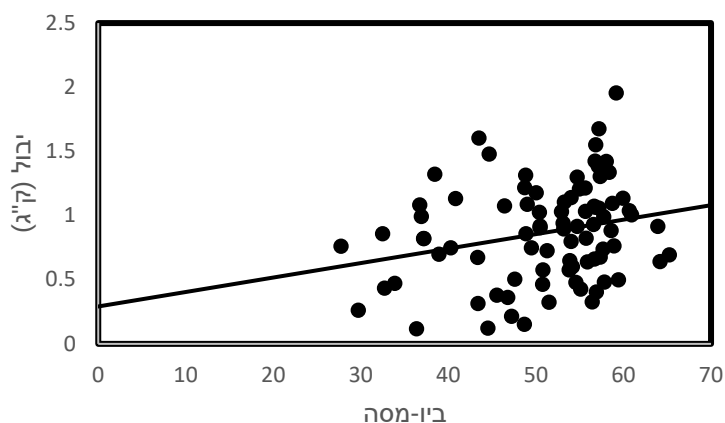
כמות המחילות, שמשיפועות באופן ישיר על טיב וכמות הצומח (גרף 4), נמצאו בקשר שלילי למדדי הצמחייה, NDVI וביומסה, במובהקות סטטיסטית. לעומת זאת, אחוז החומר הרטוב, שבדומה למדד ה-NDVI, מעיד על טיב ובריאות הצמח [30], נמצא בקשר חיובי חלש מאוד וללא מובהקות סטטיסטית למדד ה-NDVI. יתרה מזאת, מדד ה-NDVI, הראה קשר חיובי לא מובהק לכמות היבול. עם זאת, מדד הביומסה, הראה קשר חיובי לכמות היבול במובהקות סטטיסטית. תוצאה זו, של קשר חיובי מובהק בין הביומסה לכמות היבול, מאפשרת לנו להשתמש בכלים של חישה מרחוק על מנת לבדוק את כמות היבול בשדה ובכך להחליף את השיטה הקיימת של איסוף יבול ידני. מאחר והתוצאות שנמצאו מראות על כיוון חיובי ועל כך שניתן לקשור את מדדי הצמחייה שחושבו לנזקי מכרסמים בשטח, אנחנו מניחים שבעתיד השימוש ברחפנים ככלי לניטור ומעקב אחר מכרסמים בחקלאות מדויקת, ילך ויגדל.

מספר מחילות הנברנים נמצא כמדד חשוב בעת בחינת נזקי הנברנים בשדות אספסת. מהנתונים שאספנו, עולה כי למספר המחילות מתאם שלילי לכמות היבול (גרף 4) וקשר חיובי למספר הנברנים (גרף 3.א). מכך ניתן להסיק, שכל שיש יותר מחילות, יש יותר נברנים ופחות יבול וכפועל יוצא, ככל הנראה, הנברנים מהווים את המזיק הגדול ביותר לשדות אספסת בעמק החולה. תוצאות אלה תואמות תוצאות ממחקרים קודמים, בהם הראו שנברנים יוצרים נזקים גדולים בשדות חקלאיים בישראל ובעולם [5]–[8].

למספר הנברנים היה קשר שלילי מובהק לכמות היבול, ממצא התואם את השערתנו ואת התוצאות האחרות שהתקבלו בניסוי. יחד עם זאת בהשוואה בין מספר הנברנים שנתפסו (גרף 2) לבין כמות היבול שנקצר (גרף 10), ניתן



גרף 8: הקשר בין כמות היבול למדד ה-NDVI (N=85, $p=0.001$)



גרף 9: הקשר בין מדד הביומסה לכמות היבולים (N=85, $p<0.05$, $F=4.39$)

לראות שדות בהם כמות הנברנים שנתפסו הייתה גבוהה, אך כמות היבול בהם הייתה גבוהה גם כן. ייתכן שמדד הנברנים שנתפסו אינו מעיד בהכרח על מדד היבול ועל נזקיהם של הנברנים לשדות החקלאיים, למעט במקרים קיצוניים, בהם ישנה כמות מחילות גבוהה מאוד, בשילוב כמות גבוהה של נברנים.

במחקר מצאנו ראיות לכך שהנזק העיקרי לשדות אספסת נובע מפעילות נברנים ויש למקד את עיקר המאמצים בטיפול בהם. מספר מחילות הנברנים נמצאו, כצפוי, כאינדיקטורים טובים לנזקים שיוצרים הנברנים ולכן, חשוב למצוא שיטה יעילה וטובה למציאתם גם ללא כניסה לשדה. בהמשך מתוכנן ניסוי נוסף, שמטרתו בחינת יעילות הטיפולים השונים הנהוגים לשימוש כיום, ולהשוואתם לתוצאות שיתקבלו וינתחו מצילומי רחפן. להערכתנו, בשימוש בהטסת הרחפן וקבלת הצילומים ממנו לצרכי מחקר, ישנו צורך לבנות מערך ניסוי בו הפרעות כגון צל ושבילים שיצרנו בשדות, לא יפריעו לניתוח התמונות ויהיה ניתן להוציא מהצילומים נתונים איכותיים.

כמו כן, יש לכתוב פרוטוקול מיוחד להטסת הרחפן, כך שתיווצר חפיפה גבוהה בין התמונות וע"י כך לצמצם את כמות הנתונים שיורדת בעת ניתוח ועיבוד התמונות במחשב.

ממצא נוסף שחשוב לתת עליו את הדעת הוא שבשדות אספסת ישנו קשר שלילי בין מספר הנברנים למספר העכברים. הנברנים, בהיותם מכרסם גדול יותר, המתבסס בלב השדות, ככל הנראה דוחקים את העכברים מהשדות. בעוד בשדות בהם לא נלכדו מספר גבוה של נברנים, נתפסו יותר עכברים. תוצאות אלה מהוות ראיה לתחרות בין-מינית. על פי הסקירה הספרותית שערכנו, נכון להיום לא נמצאה עדות לתחרות בין נברן השדה לעכבר הבית.

תוכנית עבודה ל2019: בחינת יעילות טריפה, הרעלה והצפה בטיפול נזקי מכרסמים בשדות אספסת בעמק החולה

1. מבוא

לאחר בניית בסיס נתונים ראשוני בו קיבלנו אומדן לנזקי מכרסמים בשדות אספסת וזיהוי מדדים המעידים על נזקי הנברנים ועל טיב צמחיה שחושבו מצילומי רחפן כמספר מחילות הנברנים, כמות יכול האספסת וגודל אוכלוסיות המכרסמים, כאשר ברשותנו נתונים המעידים על פעילות הנברנים בעמק החולה והעונה בה אוכלוסייתם גדלה. אנחנו עוברים לשלב הבא והוא לבחון את כיצד להדביר את הנברנים בדרך היעילה ביותר שתספק ידע מעשי לחקלאים הסובלים מהמזיקים.

אנו מתכננים לבדוק את יעילות שלושת הטיפולים הנפוצים בנזקי הנברנים (טריפה, הצפה ושימוש ברעלנים) ולשלב ידע זה בידע הנוכחי, זאת בכדי למצוא דרך יעילה להדברת הנברנים וצמצום נזקיהם לטובת החקלאיים. אנו ננסה לראות, האם ניתן לראות שיפור בטיב הגידולים במדדים שונים, המופקים מצילומי רחפן, המעידים על איכות צמחיה בהתאם לטיפולים השונים בזמנים השונים.

2. מטרות

- בחינת יעילות ציד, הרעלה והצפה כנגד נזקי מכרסמים, בדגש על נברנים
- בדיקת יעילות לחץ טריפה ככלי להורדת מספר המכרסמים בשדה
- בחינת יעילות הרעלן "ראש 80" ככלי להדברת נברנים
- בחינת היכולת לאתר ריכוזי מחילות נברנים ע"י רחפנים
- בדיקת השפעת הטיפולים על מספר המכרסמים (לכידות) ועל טיב היבול (מדדי צמחיה)
- בחינת הדינמיקה והאקולוגיה של נברנים ע"י לכידות חוזרות וסימון במשדרים
- בניית אלגוריתם ידידותי למשתמש, ככלי למציאת מחילות נברנים על בסיס צילומי רחפן

3. שיטות וחומרים

מחקר 1: בחינת יעילות ציד, הרעלה והצפה כנגד נזקי מכרסמים, בדגש על נברנים (דור קשת סטודנט לתואר שני)

במחקר זה נתמקד ב-4 שדות אספסת בעמק החולה. בכל השדות נבדוק ארבעה טיפולים: טריפה וציד, הצפה, הרעלה וביקורת. בכל שדה יהיו 2 חלקות בגודל של 100 מ"ר שיבדקו כל טיפול, סה"כ 8 חלקות בשדה. כל החלקות יהיו במרחק מקסימלי ושווה אחת מהשניה, כך שיהיו מפוזרות על כל השדה. כל שבוע יבדקו 2 שדות שונים, ב-2 לילות רצופים, שדה בכל לילה. כל חלקה תסומן בדגלים בצבעים שונים, הן לסימון החלקות לנוכחות מחקר והן לסיווג החלקות ומיונם לפי טיפול (איור 3).

מספר טיפול	סוג הטיפול
1	שימוש ברעלן "ראש 80" 
2	עידוד טריפה ע"י עמודי ציד 
3	הצפה 
4	ביקורת



איור 3: הדמיה של שדה אספסת, ע"פ החלוקה שלו לחלקות וסוגי הטיפול השונים אותם נבדוק במהלך הניסוי. כל ריבוע מייצג חלקה בשדה אותה נדגום. כל מספר מייצג את הטיפול אותו נבדוק באותה החלקה. סוגי הטיפולים השונים ומספרם מצויינים בטבלה.

אופן הטיפולים השונים יתבצעו כך:

1. הצפת החלקות
בכל חלקה של הצפה, נשתמש במשאבה ניידת, כדי לשאוב מים מתעלות סמוכות לתוך השדה. כמות המים תימדד ותהיה זהה לכמות המים שמשתמשים בהם כיום בעת הצפת השדות ע"י מערכות ההשקיה ("קו-נוע").
2. עידוד ציד והערכת לחץ טריפה
בכל חלקה בה נעודד ציד, נמקם 2 עמודי ציד לתנשמות ושאר דורסים. ליד כל עמוד נמקם מצלמת שביל, כדי לבחון את מגוון הטורפים שמשתמשים בעמוד. כמו כן, ליד כל חלקה בשדה (לא רק בחלקת הציד), ימוקמו מצלמות שביל נוספות, לבחינת נוכחות טורפים שונים לאומדן לחץ טריפה.
3. שימוש ברעלן- "ראש 80"
בחלקות ההרעלה, נפזר בתוך פתחי המחילות שימצאו בחלקה את הפיתיון המורעל בראש 80. כמות הרעל שתפוזר, תהיה כמות הרעל המותרת היום לשימוש לצורכי החקלאים. השימוש בראש 80 יהווה אינדיקציה ליעילותו כרעלן להדברת נברנים.
4. ביקורת
בכל שדה אותו נבדוק, תהיינה 2 חלקות ביקורת, כדי שתהיה יכולת השוואה ובדיקה ליעילות הטיפולים.

בדומה לשלב הראשון, גם בשלב זה אנו נשתמש במספר שיטות כדי לאמוד את כמות הנברנים ולאמוד את חומרת הנזק אותו יצרו לשדות. את השיטות הבאות נבדוק לפני ואחרי יישום הטיפולים בחלקות:

- ספירת מחילות
בכל חלקה, נעבור עם מקל מדידה באורך של מטר וניצור 5 סטריפים של 10X1 מטר. בכל סטריף נספור את מספר מחילות הנברנים, כאשר אזורי ריכוז גבוהים של מחילות, יסומנו בדגלים. בחלקות בהן לא ימצאו מחילות, נסמן בדגלים אזורים שנבחרו אקראית. מספר המחילות יהווה מדד בסיסי להשערת גודל אוכלוסיות הנברנים בחלקה. כמו כן, נשתמש בנתון זה, כדי להשוות אותו לצילומי הרחפן, שבאמצעותם ננסה לפתח שיטה לאומדן מספרי מחילות בשדה.
- לכידות מכרסמים וסימון במשדרים
בכל חלקה נמקם באזורי ריכוז מחילות ועל שבילי הדרך שיוצרים המכרסמים, מלכודות 2 דלתות מסוג havahart, ללכידות חיות של מכרסמים. בכל לילה ימוקמו 20 מלכודות בחלקה. בחלקות בהן לא ימצאו מחילות, נפזר את המלכודות אקראית תוך ניסיון למקם אותם על שבילים. את המכרסמים שילכדו בכל לילה, נסמן בעזרת משדרי RFID, תת-עוריים ונשחררם בחזרה בחלקה בה נתפסו. לאחר יישום הטיפולים השונים, נחזור על הלכידות ונפזר בכל חלקה (באותם אזורים), 20 מלכודות. נבדוק נוכחות משדר בכל המכרסמים שיתפסו בפעם השנייה באמצעות סורק.
- צילום השדה ע"י רחפן, הוצאת מדדי צמחיה ובניית מודלים למציאת מחילות
נשתמש ברחפן מדגם DJI Phantom 4 בעל חיישן 1.2 MP Sentera NDVI Single Sensor upgrade. נטיס את הרחפן בכל החלקות לפני מתן הטיפולים ותוך כדי הניסוי. בעזרת תוכנת Pix4D, נבנה מפה של השדה ע"י תמונות RGB ותמונות חופפות שצולמו ע"י חיישן אינפרה-אדום. בעזרת תוכנת ENVI/Arcmap, נחשב מדדי צמחיה של כל חלקה לפני מתן הטיפול. לאורך הניסוי, נחזור על דרך זו

שוב, אחת לחודש, לבחינת השינוי בטיב הגידול כפי שיתקבל ממדדי הצמחייה שנחשב. בנוסף, נשתמש בתוכנת Pix4D לבניית מודלים תלת-ממדיים של השדה, למציאת אזורים בהם ישנו ריכוז גבוה של מחילות.

מחקר 2: בניית אלגוריתם לאיתור מחילות נברנים (ויטלי אוסיאטינסקי סטודנט לתואר שני)

מתוך הידע שנצבר והידע שייאסף ברצוננו להשתמש בעזרים הטכנולוגיים ששימשו אותנו כדי פתח כלי יישומי לטובת החקלאים, שיעזור להתמודד עם המזיקים. לכן בשלב המחקר האחרון אנו נשלב את הנתונים והממצאים שיתקבלו עד שלב זה כדי לבנות אלגוריתם לאיתור מחילות נברנים. ברצוננו לפתח אלגוריתם שיעבד מידע רב לצורך ייעול עבודת החקלאי, האלגוריתם ישולב במוצר עם ממשק נוח, שכל אדם יכול לתפעל. לשם פיתוח האלגוריתם, אנו אוספים נתונים מקבילים ממקורות שונות, כאשר התהליך מסודר בתכנית מחקר שבנינו לשם כך:

כאמור, אנו נשתמש ב-8 שדות אספסת בעמק החולה. בכל שדה יהיו 8 חלקות בגודל 100 מ"ר. בסך הכול שטח הניסוי הוא 64,000 מ"ר. בחודשי האביב, כאשר החקלאים קוצרים את השדות, נצלם כל חלקה בחפיפה גבוהה באמצעות רחפן (איור 4). כל חלקה תצלם מספר פעמים בשני מצבים: אחרי קצירת האספסת (כאשר הצמחייה נמוכה מאוד) ולקראת הקצירה (כאשר הצמחייה בשיא גובהה). לניסוי יהיו ארבעה שלבים, שחלקם תוארו לעיל:

א. בשלב הראשוני נסמן את חורי הנברנים בחלקות השונות ע"י דגלים, זאת כדי לסייל ולזהות כראוי את המחילות בשלב ניתוח הנתונים מהצילום. בעזרת הדגלים, כאשר נצלם את החלקה, נאתר את הנקודות ציון המדיקות של המחילות על פני החלקות.

ב. בשלב שני נשתמש בתוכנות ENVI (Exelis Visual Information Solutions, Boulder,) ו-Arcmap (ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA:) (Colorado Environmental Systems Research Institute). להפקת ניתוחי תמונה שונים מתמונות הרחפן ובתוכנת Pix4D (Pix4D SA, Switzerland) לבניית מודלים תלת-ממדיים של השטח. במודלים השונים שיתקבלו מהניתוחים, נאתר את חורי המחילות בתצלומי הצמחייה הנמוכה על פי נקודות הציון שכבר ידועות לנו. הנתונים שיתקבלו מהצילומים יאפשרו את פיתוח האלגוריתם הנעזר בלימוד המכונה (machine learning); המחשב יקבל מספר רב של תצלומים, בהם מיקום המחילות ונתונים אחרים. על-ידי מעבר על מספר רב של דוגמאות המחשב ימצא בעצמו את הקשר פנימי בין הנתונים בצורה ויבנה מודל שיאפשר לו לאתר את המחילות מתוך צילום. כך, בסופו של תהליך, האלגוריתם יאפשר איתור מחילות בעזרת צילומי רחפן של צמחיה נמוכה.

ג. בשלב השלישי נשתמש בנקודות הציון של המחילות שמצאנו בשלב הקודם ובהשוואה בין בצילומי הצמחייה הנמוכה לגבוהה שיתקבלו מכל חלקה. נחפש סמנים מזהים במודל התלת ממדי ובאנדקסי הצומח השונים להמצאות מחילות בצמחיה הגבוהה. בשלב זה ברצוננו למצוא את המתאם שיעיד לעתיד על הימצאות מחילות, דבר שיקל על זיהוי מחילות בשיטות מרחוק.

ד. באמצעות סימנים אלה, נבנה אלגוריתם ידידותי למשתמש בסביבת עבודה Matlab (MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States), שנוכל ליישמו באפליקציות פשוטות, גם בטלפונים חכמים, שבעזרתו יוכלו חקלאים, בסופו של דבר, למצוא מחילות מכרסמים בגבוהים שונים של צמחיה, ללא צורך בכניסה לשדה, דבר שאנו מאמינים יקל באופן משמעותי את עבודת החקלאי בהתמודדות עם נזקי המכרסמים בשדות, בייחוד שמוצר זה יגיע עם מחקר על אופן ההדברה הרצויה ויעילה ביותר.



איור 4- תפוצת מחילות הנברנים בשדה אספסת פגוע- צילום רחפן
בו מסומנים פתחי מחילות נברנים. להמחשה.

תקציב המחקר וחלוקת התשלומים לשותף המחקר (בש"ח)

שנה	למכון שמיר למחקר	למו"פ צפון	סה"כ
2018	86,500	43,500	130,000
2019	86,500	43,500	130,000
2020	86,500	43,500	130,000
סה"כ	259,500	130,500	390,000

ציוד נדרש

לצורך ביצוע המחקר, נזדקק לציוד הבא:

ציוד	כמות	מדוע?
משאבת מים מונעת בדלק	1	לצורך שאיבת מים מהתעלות להצפת השדה
רעלן- ראש 80		לצורך בדיקת יעילות הרעלן
טאבלט	1	לצורך הפעלת והטסת הרחפן
עמודי ציד	4	לעידוד טריפת הנברנים ע"י תנשמות ודורסים אחרים
דגלים גבוהים וצבעוניים	8 דגלים ב-4 צבעים שונים, סה"כ 32 דגלים	לסימון השדות והחלוקה לחלקות
מצלמות שביל	14	לצילום ותיעוד מיני הטורפים שנכנסים לכל חלקה
תוכנת Pix4D	1	לניתוח צילומי הרחפן
צמר גפן	20 חבילות	לציפוי פנימי של המלכודות
מגפיים	2 זוגות	כדי שיהיה אפשר לעבוד בשדות המוצפים ובחורף
מכנסי דייגים	2 זוגות	כדי שיהיה אפשר לעבוד בשדות המוצפים ובחורף

ביבליוגרפיה

- [1] I. S. Wing, E. Monier, A. Stern, C. Müller, J. Elliott, J. Chryssanthacopoulos, J. Martinich, A. Crimmins, R. H. Beach, M. N. Mistry, I. S. Wing, and E. De Cian, "yield models Simulated vs . empirical weather responsiveness of crop yields : US evidence and implications for the agricultural impacts of climate change."
- [2] J. Jiao, Y. Wang, L. Han, and D. Su, "applied sciences Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems," 2017.
- [3] Y. Li and D. Su, "Alfalfa Water Use and Yield under Different Sprinkler Irrigation Regimes in North Arid Regions of China," 2017.
- [4] N. C. Stenseth, H. Leirs, A. Skonhøft, S. A. Davis, R. P. Pech, P. Harry, G. R. Singleton, M. Lima, R. S. Machang, R. H. Makundi, Z. Zhang, P. R. Brown, D. Shi, and X. Wan, "Mice , rats , and people : the bio-economics of agricultural rodent pests In a nutshell :," 2003.
- [5] R. A. Baldwin, T. P. Salmon, R. H. Schmidt, and R. M. Timm, "Perceived damage and areas of needed research for wildlife pests of California agriculture," *Integr. Zool.*, vol. 9, pp. 265–279, 2014.
- [6] J. Vi, J. J. Luque-larena, and L. Arroyo, "Original article A comparison of methods for estimating common vole (*Microtus arvalis*) abundance in agricultural habitats

- a Daniel Jare no," vol. 36, pp. 111–119, 2014.
- [7] I. Noy-Meir, "Dominant Grasses Replaced by Ruderal Forbs in a Vole Year in Undergrazed Mediterranean Grasslands in Israel Author (s): Imanuel Noy-Meir Source : Journal of Biogeography , Vol . 15 , No . 4 , Festschrift in Honour of Professor Published by : Wiley Stabl," *J. Biogeogr.*, vol. 15, no. 4, pp. 579–587, 1988.
 - [8] S. Moran, H. Keidar, and B. Dagan, "Checklist of vertebrate damage to agriculture in," vol. 12, no. May, 1993.
 - [9] K. Meyrom, Y. Motro, Y. Leshem, S. Aviel, I. Izhaki, K. Meyrom, Y. Motro, Y. Leshem, S. Aviel, I. Izhaki, F. Argyle, and M. Charter, "Nest-Box use by the Barn Owl *Tyto alba* in a Biological Pest Control Nest-box use by the Barn Owl *Tyto alba* in a biological pest control program in the Beit She æ™ an valley , Israel," vol. 97, no. 4, pp. 463–467.
 - [10] Y. Motro, "Economic evaluation of biological rodent control using barn owls *Tyto alba* in alfalfa," in *Julius-Kühn-Archiv 8 th European Vertebrate Pest Management Conference*, no. November, 2011, pp. 79–80.
 - [11] L. Cohen-Shlagman, S. Hellwing, and Y. Yom-Tov, "The biology of the Levant vole, *Microtus guentheri* in Israel. II. The reproduction and growth in captivity," *Z. Säugetierkd.*, vol. 49, pp. 148–156, 1984.
 - [12] L. Cohen-Shlagman, S. Hellwing, and Y. Yom-Tov, "The biology of the Levant vole, *Microtus guentheri* in Israel I. Population dynamics in the field," *Z. Säugetierkd.*, vol. 49, pp. 135–147, 1984.
 - [13] A. Haim, U. Shanas, O. Brandes, A. Gilboa, and B. Sheaan, "Suggesting the use of integrated methods for vole population management in alfalfa fields," vol. 2, pp. 184–190, 2007.
 - [14] H. Mendelssohn and Y. Yom-Tov, *Fauna Palaestina, Mammalia of Israel*. The Israel Academy of Science and Humanities, 1999.
 - [15] ה. זלמן, "מעקב זקי נברנים במרעה: התפרצות אוכלוסיות נברנים and ע. דולב, א. אהרון בצפון הגולן," *מו"פ צפון-מיג"ל*, 2011.
 - [16] M. Charter, I. Izhaki, K. Meyrom, Y. Motro, Y. Leshem, S. The, and W. Journal, "Diets of Barn Owls Differ in the Same Agricultural Region DIETS OF BARN OWLS DIFFER IN THE SAME AGRICULTURAL REGION," *Wilson J. Ornithol.*, vol. 121, no. 2, pp. 378–383, 2009.
 - [17] G. W. Witmer, R. S. Moulton, and R. A. Baldwin, "An efficacy test of cholecalciferol plus diphacinone rodenticide baits for California voles (*Microtus californicus* Peale) to replace ineffective chlorophacinone baits," vol. 60, no. 4, pp. 275–279, 2014.
 - [18] I. Kan, T. Hebrew, N. Horvitz, U. Sha-, M. Freund, M. Heiman, S. Ginzberg, Y. Cohen, R. Aviel, N. Lifshitz, D. Alon, M. Azaz, R. Ketner, M. Charter, R. Rabinowitz, G. K. Bar-gal, E. Tcher-, and M. Coll, "A GRICULTURAL R ODENT C ONTROL U SING B ARN O WLS : I S I T P ROFITABLE ?," vol. 96, no. 3, pp. 733–752, 2013.
 - [19] B. G. Meerburg, M. P. E. Van Gent-pelzer, B. Schoelitsz, and T. A. J. Van Der Lee, "Distribution of anticoagulant rodenticide resistance in *Rattus norvegicus* in the Netherlands according to *Vkorc1* mutations," no. April, 2014.
 - [20] M. Pascal, P. Gasqui, V. Lattard, L. Crespin, O. Lorvelec, M. Vayssier-taussat, S.

- Bonnet, P. Marianneau, P. Bourhy, P. Berny, N. Pavio, S. Le Poder, E. Gilot-fromont, E. Jourdain, A. Hammed, and I. Fourel, "Population genetics , community of parasites , and resistance to rodenticides in an urban brown rat (*Rattus norvegicus*) population," pp. 1–26, 2017.
- [21] E. Koivisto, A. Santangeli, P. Koivisto, T. Korkolainen, T. Vuorisalo, I. K. Hanski, I. Loivamaa, and S. Koivisto, "The prevalence and correlates of anticoagulant rodenticide exposure in non-target predators and scavengers in Finland," *Sci. Total Environ.*, vol. 642, pp. 701–707, 2018.
- [22] S. Moran, "Reducing Sodium Fluoroacetate and Fluoroacetamide Concentrations in Field Rodent Baits Shmuel Moran 1," *Phytoparasit.* 23(3), vol. 23, no. 3, pp. 195–203, 1995.
- [23] M. Jacquot, L. Chrono-environnement, U. M. R. Ufc, F.- Comt, P. Leclerc, L. Chrono-environnement, U. M. R. Ufc, and P. Leclerc, "Using long-term monitoring of red fox populations to assess changes in rodent control practices," 2013.
- [24] P. M. Fisher, "Rats , mice and people : rodent biology and management," no. November, 2015.
- [25] L. Arroyo, A. Paz, and J. Antonio, "Avian predators as a biological control system of common vole (*Microtus arvalis*) populations in north-western Spain : experimental set-up b Beatriz Arroyo , b Franc , ois Mougeot , d Juan Jos e," no. December 2011, 2012.
- [26] J. A. Fargallo, G. Blanco, J. Potti, J. Viñuela, J. A. Fargallo, G. Blanco, J. Potti, and J. Viñuela, "Nestbox provisioning in a rural population of Eurasian Kestrels : breeding performance , nest predation and parasitism Nestbox provisioning in a rural population of Eurasian Kestrels : breeding performance , nest predation and parasitism," vol. 3657, 2010.
- [27] M. Charter, K. Meyrom, Y. Leshem, S. Aviel, I. Izhaki, Y. Motro, M. C. Harter, K. M. Eyrom, Y. L. Eshem, S. A. Viel, and I. I. Zhaki, "Does Nest Box Location and Orientation Affect Occupation Rate and Breeding Success of Barn Owls *Tyto alba* in a Semi-Arid Environment ? Does nest box location and orientation affect occupation rate and breeding success of Barn Owls *Tyto alba* in a semi-arid environment ?," vol. 45, no. 1, pp. 115–119, 2010.
- [28] M. Charter, I. Izhaki, A. Bouskila, and Y. Leshem, "The Effect of Different Nest Types on the Breeding Success of Eurasian Kestrels (*Falco tinnunculus*) in a Rural Ecosystem," vol. 41, no. 2, pp. 143–149, 2007.
- [29] S. W. Running, "Estimating Terrestrial Primary Productivity by Combining Remote Sensing and Ecosystem Simulation BT - Remote Sensing of Biosphere Functioning," R. J. Hobbs and H. A. Mooney, Eds. New York, NY: Springer New York, 1990, pp. 65–86.
- [30] F. G. Hall, "The interpretation of spectral vegetation indexes . IEEE Trans . Geosci . Remote Sens," no. July 2013, 1995.
- [31] A. G. Kayad, K. A. Al-gaadi, E. Tola, and R. Madugundu, "Assessing the Spatial Variability of Alfalfa Yield Using Satellite Imagery and Ground- Based Data," pp. 1–16, 2016.
- [32] J. O. Payero, C. M. U. Neale, and J. L. Wright, "COMPARISON OF ELEVEN VEGETATION INDICES FOR ESTIMATING PLANT HEIGHT OF ALFALFA AND GRASS," *Appl. Eng. Agric.*, vol. 20, no. 3, pp. 385–394, 2004.

- [33] A. M. Lima, P. A. J. Polop, and C. P. A. Jose, "Population dynamics of two rodent species in agro-ecosystems of central Argentina : intra-specific competition , land-use , and climate effects," pp. 297–306, 2009.
- [34] S. H. Smith, K. Steenhof, C. J. W. McClure, and J. A. Heath, "Earlier nesting by generalist predatory bird is associated with human responses to climate change," pp. 98–107, 2017.
- [35] K. Anderson, K. J. Gaston, K. Anderson, and K. J. Gaston, "Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology," *Front Ecol Env.*, vol. 11, no. 3, pp. 138–146, 2013.
- [36] K. S. Christie, S. L. Gilbert, C. L. Brown, M. Hatfield, and L. Hanson, "Unmanned aircraft systems in wildlife research : current and future applications of a transformative technology," *Front Ecol Env.*, vol. 14, no. 5, pp. 241–251, 2016.
- [37] A. C. Watts, J. H. Perry, S. E. Smith, M. A. Burgess, B. E. Wilkinson, Z. Szantoi, P. G. Ifju, and H. F. Percival, "Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys," *J. Wildl. Manage.*, vol. 74, no. 7, pp. 1614–1619, 2010.
- [38] D. J. Mulla, "Special Issue : Sensing in Agriculture Review Twenty five years of remote sensing in precision agriculture : Key advances and remaining knowledge gaps 5," *Biosyst. Eng.*, vol. 114, no. 4, pp. 358–371, 2013.
- [39] D. J. Mulla, "Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters," *Biosyst. Eng.*, vol. 8, pp. 358–371, 2012.

