

Phenacoccus solenopsis recognition in micro UAV images of cotton fields

דוח שנתי 2015 – 22/3/2016

מוגש להנהלת ענף הכותנה (לא לפרסום-סודי מסחרי)

ע"י:

ד"ר יפתח קלפ*, אריאלה ניב**, מיכל אקסלרוד**, אשר לוי*

* מנהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית; ** מועצת הכותנה;

1. מבוא קצר ותיאור הבעיה

כנימה קמחית מנוקדת, *Phenacoccus solenopsis*, הינה מין חדש של כנימות קמחיות בישראל. מוצאה של הכנימה הוא במרכז אמריקה, אך כיום התפוצה שלה בעולם רחבה וכוללת את מרכז אפריקה, סין, הודו, אוסטרליה, מצרים ועוד. בארץ, הכנימות נתגלו לראשונה בבקעת הירדן בשנת 2011 ומשם התפשטו במהירות מאילת שבדרום ועד למרכז הארץ וצפונה. בהודו, סין, פקיסטן ואוסטרליה דיווחו כי הכנימה מביאה לפחיתה ביבול הכותנה וגורמת לנזק כלכלי. לכן זהו מזיק שמהווה איום על ענף הכותנה בכל האזורים אליהם הוא פלש. אילוח על ידי הכנימה מתבטא בעיוות הצמח, עד כדי עצירה ואף התייבשות הצמח. הכנימה קמחית ידוע כמזיק קשה הדברה, בעיקר בגלל מעטה השעווה שעל גופה המגן עליה ועל צאצאיה. כרגע, בעולם, לא ידועים תכשירי הדברה אשר יעילים בהדברת הכנימה. בישראל, אין לכנימה אויבים טבעיים ספציפיים. בישראל, אופי הנגיעות במזיק בשדה הינו ככתמי נגיעות שאינם מתרחבים הרבה במהלך עונת הגידול. משום כך, ישנו קושי לאתר מוקדים כאלה, אלא, אם נתקלים בהם במקרה במהלך פיקוח שגרתי של פקח המזיקים. השימוש בחישה מרחוק, בעזרת צילום, יכול להוות כלי לאיתור מוקדי נגיעות בשדה. **תיאור הבעיה:** איתור מוקדי הנגיעות בשדה הינו מקרי וישנה בעיה באיתור מוקדים מעבר לטווח ראייתו של פקח המזיקים. בנוסף, ישנה מגבלה ביישום ריסוס אפקטיבי בפעולה גורפת על פני כל שטח השדה. המגדל חשוף לפגיעה ללא יכולת לפעול עד אשר הנזק במלוא חומרתו, בשלב מתקדם של גידול הכותנה.

2. מטרת המחקר:

תכנית המחקר הוגדרה לשנה אחת ומטרתה הייתה בדיקת ייתכנות לפיתוח אמצעי עזר עבור פקחי המזיקים בשדות הכותנה לסיוע איתור יעיל של מוקדי נגיעות בקמחית המנוקדת. אמצעי העזר מבוסס על אלגוריתם לעיבוד תמונה אוטומטי של מצלמה המורכבת ע"ג כלי טייס בלתי מאויש (כטב"ם) החג מעל השדה ומצלם את החלקה. אלגוריתם ייעודי יחפש מטרות חשודות מחוץ לשדה ראייתו של הפקח באופן אוטומטי ויחזיר מפת נקודות חשודות אשר ימקדו את מאמצי פקח המזיקים בניטור בשדה. המחקר ירחיב את התוצאות שהתקבלו בעבודה המקדמית (המוצגת כנספח). האלגוריתם ישוכלל ותיבדק האפשרות לזיהוי המזיק בשילובים שונים של רזולוציות ומהירויות טיסה. אנו מניחים כי תנאי התאורה המשתנים והשוני האזורי ידרשו מטרת כיוול אותה תלמד המערכת לצורך הגדרת הכנימה. כיוון שהמערכת כוללת מעורבות אדם, בנוסף להמלצות האוטומטיות, האלגוריתם יאפשר לפקח המזיקים לקבוע את רמות הסף לגילוי. במחיר של הגדלת זיהוי false positive. ייבדק הקשר בין רמות הסף של האלגוריתם לרמות הגילוי וגילוי השווא. הגדלת שטח הכיסוי מורידה את רזולוציית הצילום ומשך הזמן הנדרש לכיסוי השדה. האלגוריתם ישוכלל ותיבדק האפשרות לזיהוי המזיק בשילובים שונים של רזולוציות ומהירויות טיסה. במהירות נתונה ככל שהרזולוציה הנדרשת גדולה יותר גובה הטיסה נמוך יותר וזמן הטיסה הנדרש לכיסוי השדה גדול יותר. תיבדק אפשרות סריקה מוטסת בשני שלבים: סריקה מהירה בגובה גבוה וסריקה

מדויקת יותר באזור המטרות בגובה נמוך. בנוסף תיבדק גם אפשרות שימוש בכטב"ם הטס במהירות 80 קמ"ש ללא עצירה, אשר יקצר מאוד את זמן הסריקה, במחיר של רזולוציה מרחבית נמוכה יותר והעדר כושר ריחוף מעל מטרות.

1. פעילות בשדה-שנה ראשונה (2015)

בהתאם לתכנון, מוקד הניסוי נקבע לאחר תחילת העונה ולאחר איתור מוקדי כנימה. באזור קיבוץ גזר נמצא שדה מתאים יותר משדה באזור קזזה (שהיה אף הוא נגוע) ולכן מרבית העבודה התבצעה בגזר. בוצעו ארבעה סקרים קרקעיים ושני ניסויים מוטסים בהתאם לתקציב שאושר. המידע שנאסף מנותח ומשמש לפיתוח אלגוריתם לאיתור מוקדי נגיעות מהאוויר.

ניסויים וסקרים קרקעיים שבוצעו:

טבלה 1- רשימת הניסויים והסקרים הקרקעיים

תאריך	מטרה	מיקום
11.6.16	חיפוש אחר שדה ניסוי למדידות מהאוויר, סקר מדידות ספקטרומטריות קרקעיות	קזזה
12.6.16	השלמה של איסוף פרחים ועלים בשדה לצורך ביצוע מדידות ספקטרומטריות במעבדה.	נחשון
16.6.15	בחינת השטח לפני הניסוי, זיהוי מוקדי כנימה המתאימים לביצוע ניסוי מהאוויר, איסוף מידע ספקטרוסקופי נוסף של מצב העלוה בצמחים בריאים ונגועים.	גזר
18.6.15	סקר מדידות: איסוף מידע ספקטרוסקופי נוסף של מצב העלוה בצמחים בריאים ונגועים.	גזר
27.6.15	איסוף מידע: ניסוי מוטס ואיסוף מידע ספקטרוסקופי נוסף של מצב העלוה בצמחים בריאים ונגועים.	גזר
4.9.15	ניסוי מוטס במטרה לקבל מידע על נזקי הכנימה בסוף העונה מיועד כבקרה לאימות האלגוריתם על תוצאות יולי.	גזר

הפעלת הכטב"מים וצילומי האוויר בוצעו ע"י חברת bladeworx אשר הופעלה דרך חברת "אגם" אשר פעלה כקבלן משנה בפרויקט.

באזור 1. (מימין) אנו מציגים תמונה אופיינית של שדה הניסוי, העלוה מכסה ברצף את כל השדה, השדה פורח בפריחה שרובה בהירה. (משמאל) אנו מציגים אזור נגוע, ניתן לראות את הצברים (clusters) של הכנימות ע"ג הצמח. אבחנה בין פרחים למצבורי כנימה, הקרובים בגוון, מהווה אתגר ויעד למערכת הסיווג (classifier) כפי שמוסבר בהמשך.



איור 1 – שדה הכותנה בגזר מימין, משמאל תקריב של אזור נגוע – 7 יולי 2015

2. תפיסת הפעלה – שימוש בכטב"מים כלי עזר לניטור מוקדי כנימה:

הכטב"מים המשמשים לצרכי חקלאות הינם כלי טייס קטנים במוטות כנפיים אופיינית של מטר. כלי טייס אלו מוגבלים בכושר הנשיאה שלהם ולכן נושאים מצלמות מובנות כגון ה sony-next5 המצוידות בעדשה ספציפית שהיא חלק מקונפיגורציה המטוס המוגדרת ברישיון. בניסוי מעורבים שלושה כוחות בעלי יתרונות וחסרונות שונים:

1) הדאון Trimbel UX5 דאון המיועד למיפוי שדות מסוגל לכסות שטחים נרחבים בתפוקה גבוהה, - סרק כ 370 דונם ב 45 דקות טיסה, אך מוגבל בכושר הזיהוי רזולוציה של כ 20 ס"מ לפיקסל בשל גובה טיסה קבוע של כ 80 מטר מעל השדה.

2) ה quadcopter מוגבל בהיקף העבודה בגלל מגבלות סוללה ורוחמהירות טיסה תפעול, אך מסוגל לרדת אל מטרה ספציפית ולספק אינפורמציה ברזולוציה גבוהה. בניסוי הופעל בגובה מינימאלי של כ 15 מטר וסיפק תמונות ברזולוציה של כ 6 מ"מ לפיקסל.

3) פקח המזיקים מוגבל בכושר התצפית אך הוא מקור הסמכות בשדה.

בהמשך מוצגים תוצרי הניסוי בסדר המתאים להפעלה באופן המאפשר ניצול מיטבי של היתרונות של כל אחד מהאמצעים הנ"ל. סדר הפעולות מוצג כאלגוריתם (איור 2) המערב הפעלת מספר אמצעים בסדר יורד כשהאחד מנחה את האחר. הרעיון המרכזי בשיטה הזו הוא:

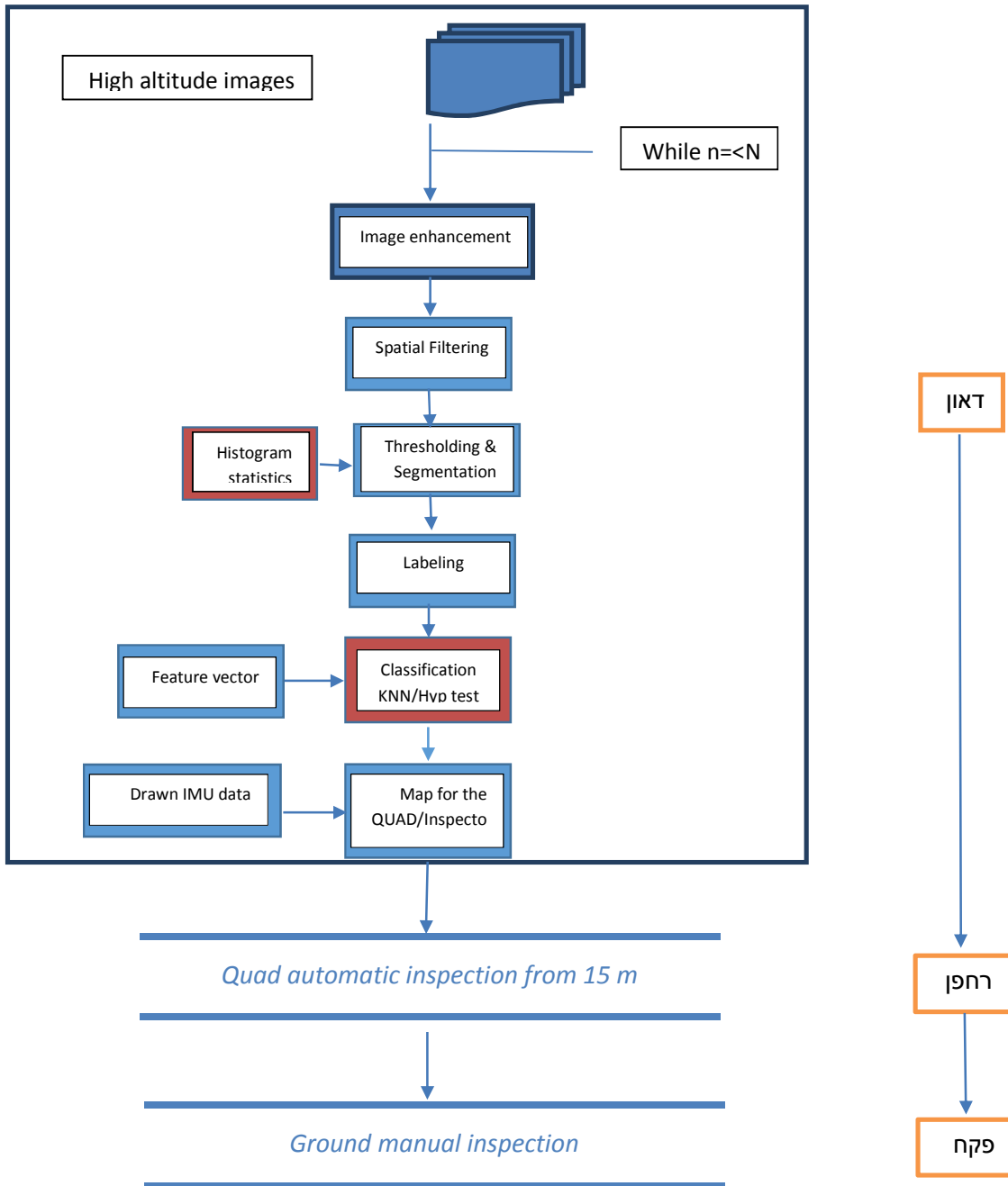
1) איתור אנומליות בשדה על בסיס תמונות דאון מהיר המסוגל לסרוק את השטח באופן מהיר.

2) שליחת ה quadcopter לנקודות עניין מצומצמות המזהות כחשודות בסריקת הדאון.

3) שליחת פקח המזיקים לאזורים אשר חשודים כנגועים.

המלבנים הכחולים שבאיור 2 מומשו ואילו המלבנים הכתומים עדיין בשלבי מחקר ופיתוח. המבנה השכבתי מתחשב בחולשות ומנצל את נקודות החוזק של הרמות המעורבות:

תרשים זרימה לזיהוי נגיעות בשלושה שלבים מהם שניים ע"י כטב"ם :



איור 2. תרשים זרימה לזיהוי נגיעות בשדה באמצעות שילוב של שלשה אמצעים.

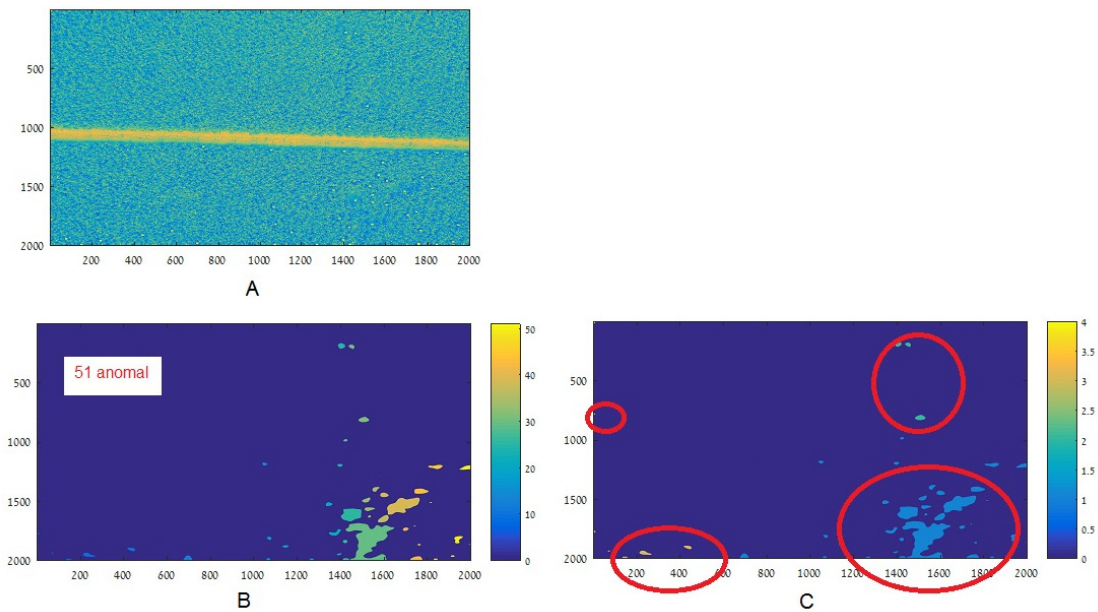
3. צילומים מדאון:

בוצעה סריקה בטיסה בגובה כ 75 מטר מעל שדה בן כ 370 דונם בעזרת ה UX5 (בשני ימי הניסוי האווירי). התמונות צולמו בחפיפה מינימאלית של 75% שאפשרה הרכבת אורטופוטו. מיקום כלי הטייס בזמן הניסוי תועד. (לא לפרסום)

התקבלו תמונות מוזאיקה של השדה. מניסויים וחישובים קודמים, אנו יודעים כי בטיסה בתנאים אלו לא ניתן לזהות ישירות צברים של כנימות. מאידך ניתן לאתר אזורים בהם יש פגיעה בצימוח העלווה (אנומליה) ולסווג אותם כאזורים החשודים כנגועים בכנימה.

מיזוג features לפי קירבה

האנומליות יכולות להיות לא רציפות. בנוסף, שדה הראיה של ה quadcopter בגובה 15 מטר מקיף כשליש דונם ולכן יכול לראות מספר אנומליות בצילום (frame) אחד. בהתאם פותח אלגוריתם לקיבוץ כתמים חשודים כנגועים המועברים כמטרות להמשך בדיקה ע"י ה quadcopter. האלגוריתם מקבל תמונה מתוקנת לאי אחידות \cos^4 האופיינית למצלמות ומנורמלת (המצלמה סובלת מאי אחידות הניתנת לכיול בחלקה, אנו מנצלים את היתירות במדידה ומשתמשים במרכז שדה הראיה בכל frame). כפי שנראה למטה, השטחים הנגועים מאופיינים בירידה בעוצמת ההחזר ובשינוי גוון כתוצאה "מפיחת העלים". בבחינת היסטוגרמות של תמונות מייצגות קבענו אמפירית רמת סף אופיינית המשמשת ל Thresholding של התמונות. על תמונה זו אנו מבצעים סגמנטציה בעזרת פונקציות מורפולוגיות מובנות בסביבת matlab, סגמנטים אלה מרכיבים את מפת האנומליות (בהמשך נשכלל את שיטת רמות הסף הנקבעות כעת אמפירית ונשלב מודולים אדפטיביים). באיור 3 מוצגת מפת אנומליות ואיחודן. בדוגמה, 51 אנומליות נפרדות אשר זוהו בתמונת הדאון קובצו לארבע מטרות המתוכננות למרכז שדה הראיה של תצלום ה quadcopter.

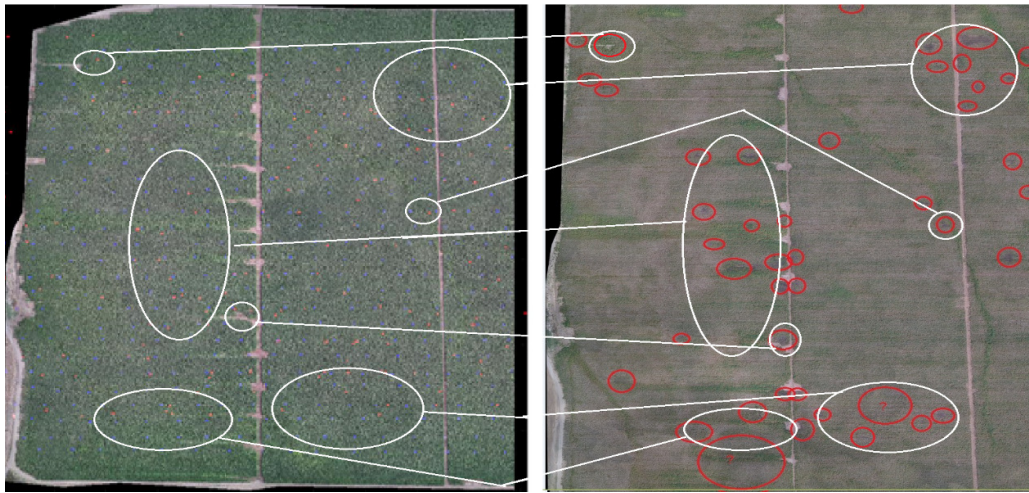


איור 3. מיזוג features לפי קירבה (A – תצלום מדאון גובה 75 מטר (תצלום מספר 647), ע"ג התצלום מסומנים בכחול מוקדי אנומליה, B) סגמנטציה של אזורי אנומליה, C) מיזוג אזורי האנומליה בהתאם לשדה הראיה של ה quadcopter.

סינון שטחים חשודים נעשה לפי כמה מאפיינים. לדוגמה: שטח, גוון, טקסטורה. כדי לקבל מסווג טוב יש צורך בקבוצת לימוד רחבה. בשלב זה אנו מסננים לפי שטח כללי, בעתיד נשלב מסווג המבוסס על צבע אופייני של

Mixed pixels (מוסבר למטה). באיור A4 מוצג תוצר סופי של המערכת כאשר תנאי הסינון לאנומליות הם שטחים כללים (של מיזוג) בין 25 ל 84 מטר רבוע. בכחול מסומנים מרכזי שדה הראיה של תמונות הדאון מ 75 מטר, באדום מסומן מרכזי שדה הראיה של תמונות ה quadcopter מ 15 מטר. יחס מספר הנקודות הוא כ 1/6 יחס שטח הכיסוי ל frame הוא כ $(15/75)^2=1/25$ כלומר ה quad יצטרך לכסות כ 1/150 משטח השדה + טיסה מנהלית נוספת לחבר בין הנקודות.

בהשוואה בין תוצאות החיפוש (איור A4), לתמונת האוויר מספטמבר (איור B4), נראה כי מסווג השטח מסוגל לזהות חלק ניכר מהאזורים בהם התפתח המזיק (בלבן). המסווג איננו מזהה אזורים נגיעות קטנים כנראה כתוצאה מרמת הסף המינימלית שהוגדרה. בנוסף למסווג גם אירועים של false positive את אלה יש בכוונתנו לשפר ע"י שילוב אינפורמציה ספקטרלית של צבע האנומליה.



A

B

איור 4. מפת אזורים חשודים עבור ה quadcopter – סינון לפי שטח, (A תמונת יולי ועליה תוצאות המיפוי מדאון. B) תמונת השדה בספטמבר חושף את אזורי הנגיעות. מאילוצים של הקבלן המבצע מחד ושל המגדל מאידך, הניסוי בוצע זמן קצר לאחר טיפול להאצת נשירה.

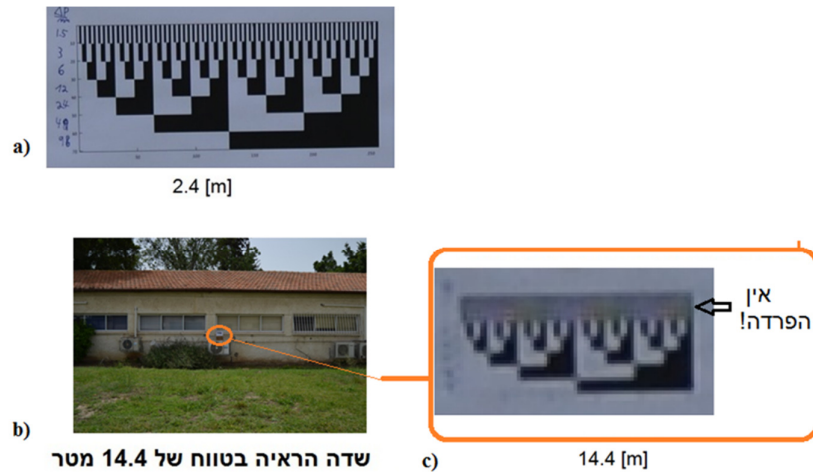
4. צילומי רחפן מעל מוקד

בטבלה 2 אנו מציגים את תוכנית הטיסה ל quadcopter מעל למוקד ידוע שאותר מראש. סך הכל צולמו לפחות 53 תמונות מעל לכול מוקד. סט צילומים זה חזר בצילום RGB וב RGNIR (האדום סונן לטובת תחילת ה NIR) בשני ימי הניסוי האווירי. כמו כן קיבלנו את מיקום כלי הטייס בזמן הניסוי.

טבלה 2- מדידות מרחפן

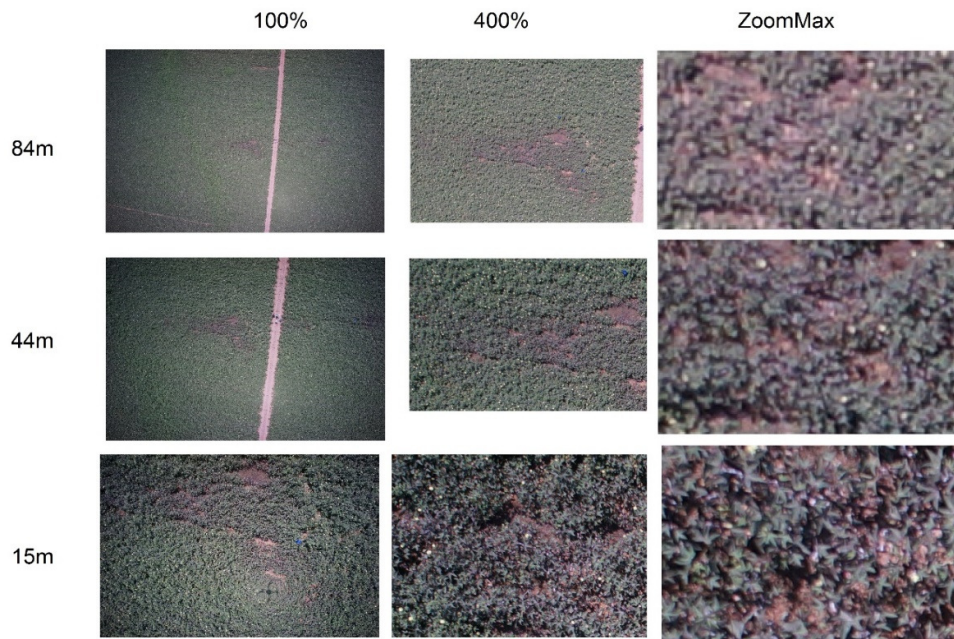
15	30	45	60	75	90	גובה
0.37	1.47	3.3	5.9	9.2	13.2	שדה ראייה [דונם]
36	9	4	2	1	1	מספר תמונות

כאמור צילום התמונות בניסויים נעשתה בעזרת מצלמה Sony nex5. בחירת גבהי הניסוי נעשתה על בסיס חישובים מקדימים של רזולוציית המצלמה, וניסויים שנעשו מול טבלת רזולוציה שנערכו בעזרת מצלמת Nikon D3200 כשהיא מכוונת למפתח הנומרי וההגדלה של ה Sony (איור 5).



איור 5. ניסוי הקדמי כושר הפרדה של מצלמה אופיינית ממרחק 14.4 מטר: טבלת הרזולוציה מראה פסים שחור לבן בתדר הולך וגדל. (a) במרחק של 2.4 מטר המצלמה מסוגלת להפריד בין פסים במרווח של 1.5 ו 3 מ"מ. (b) הטבלה במרחק 14.4 מטר (c) תמונת הפסים ממרחק 14.4 מטר לא ניתן להפריד בין פסים המרוחקים במרחק הקטן מ 6 מ"מ זה מזה.

התוצאות המקדימות הראו כי בגובה 15 מטר נקבל הפרדה המתאימה לגודל הצברים של הכנימות כך שתמנע תופעה המכונה mix pixels שבה תת הרזולוציה גורמת קבלת פיקסלים בצבע הנובע משני אלמנטים שונים הנמצאים בסמיכות זה לזה. התוצאות בשדה (איור 6) הלמו את ניסויי הרזולוציה שעשינו במעבדה. התוצאות הניסיוניות מראות כי אכן זה המצב. ניתן לראות כי ניתן לשקול זיהוי בגבהי ביניים של כ 40 מטר התומכים בשדה ראייה רחב אך גובה טיסה האופייני לדאונים לא תומך בגילוי ישיר של הכנימות.



איור 6. – תמונות של מוקד נגיעות – צילום מרחפן מעל המוקד בגבהים שונים.

אלגוריתם לזיהוי צברי (clusters) קמחית מנוקדת

צברי הכנימה הינם אלמנט לבן בעל ספקטרום וגודל אופייני הנבדל מתכונות הרקע. במצב הגידול בחודש יולי העלווה מכסה את מרווחי השורות ולכן אבנים בשדה הראיה העלולות לבלבל את הפענוח כחשודות ככתמי נגיעות נסתרות ואינן מופיעות בתמונות. מנגד, פרחי הכותנה בעלי צבע צהוב קרם אופייני, בהיר מאוד העשוי להתפרש כצבר כנימות. באיור 7 מ ניתן לראות את הדמיון בין צברי הכנימות לפרחים הבהירים בתמונות שצולמו עידי quadcopter. בהתאם, פותח מסווג מבדיל בין כנימות לפרחים בהירים על בסיס רמות צבע והפרשי צבעים אשר אופיינו סטטיסטית מקבוצת לימוד. בשלב זה המסווג מומש כ likelihood ratio. דיון נוסף בדמיון הספקטרלי בין הכנימה לפרח מוצג בסעיף העוסק במדידות בעזרת ספקטרומטר.



איור 7 – כנימות ופרחים צולם מ quadcopter מגובה 15 מטר

זיהוי צברי כנימות בתא שטח נגוע.

בטבלה 3 מוצגת תוצאת אלגוריתם לסיווג הכנימות והפרחים ב cross validation ע"ג קבוצת הלימוד שנלקחה מתמונה שצולמה מגובה 15 מטר מעל מוקד נגיעות. מכיוון שהשדה מלא בפרחים, כדי למנוע ריבוי זיהויי שווא, רמת הסף כוונה אמפירית כך שהשגיאה תהיה בזיהוי כנימות בפרחים ולא להיפך. התוצאות מראות 80% סיווג נכון של כנימות (bug) ו 100% סיווג נכון של פרחים (flower), השגיאות בסיווג מודגשות בצהוב. יש לשיים לב כי באזור נגיעות יש עשרות צברים נראים לעין ולכן זיהוי של חלקם מסווג זיהוי ודאי של האזור כולו.

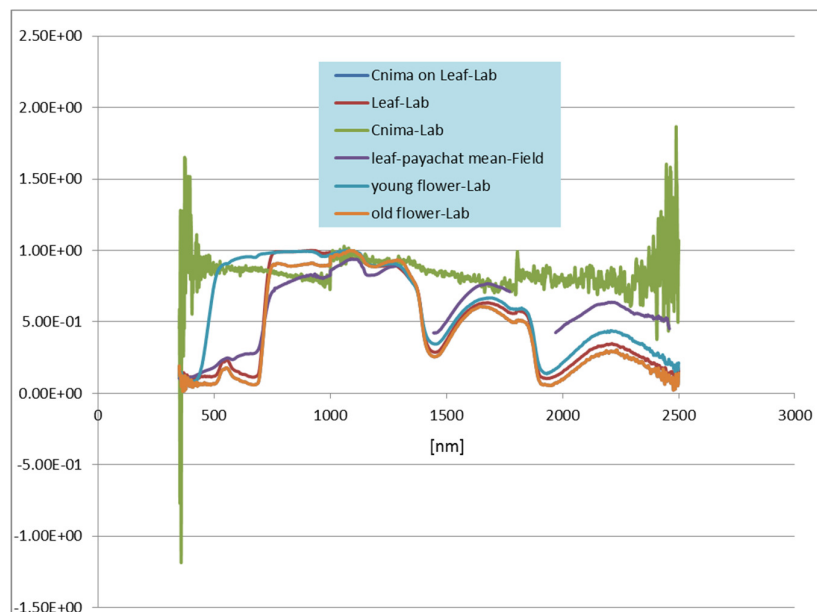
14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
flower.	flower.	flower.	flower.	bug	bug	bug	bug	bug	bug	bug	bug	bug	bug	מטרות
flower.	flower.	flower.	flower.	bug.	flower.	bug.	bug.	flower.	bug.	bug.	bug.	bug.	bug.	סיווג

טבלה 3. מתוצאות בחינת הסיווג

5. מידע ספקטראלי תומך

כאמור, אחד ממאפייני הסיווג הוא הצבע. לצורך שכלול המסווגים נאסף מידע ספקטראלי גם בעזרת ספקטרומטר שדה ובעזרת מדידות דרך פילטר NIR שהולבש על מצלמת ה RGB ומספק מידע בתחום ה NIR, באורך גל 950 nm.

מדידות ספקטרוטריות: בעזרת ספקטרומטר שדה ASD Fieldspec4 נמדדו החזרים אופייניים של צמחים וכנימות/פריחה בדרגות נגיעות שונות. המדידות נעשו במצב ניח (מהקרקע) וערכים אלו ישמשו לפיתוח המסווג classifier. המדידות נערכו במספר שדות לאורך כל ימי הניסוי ביולי.

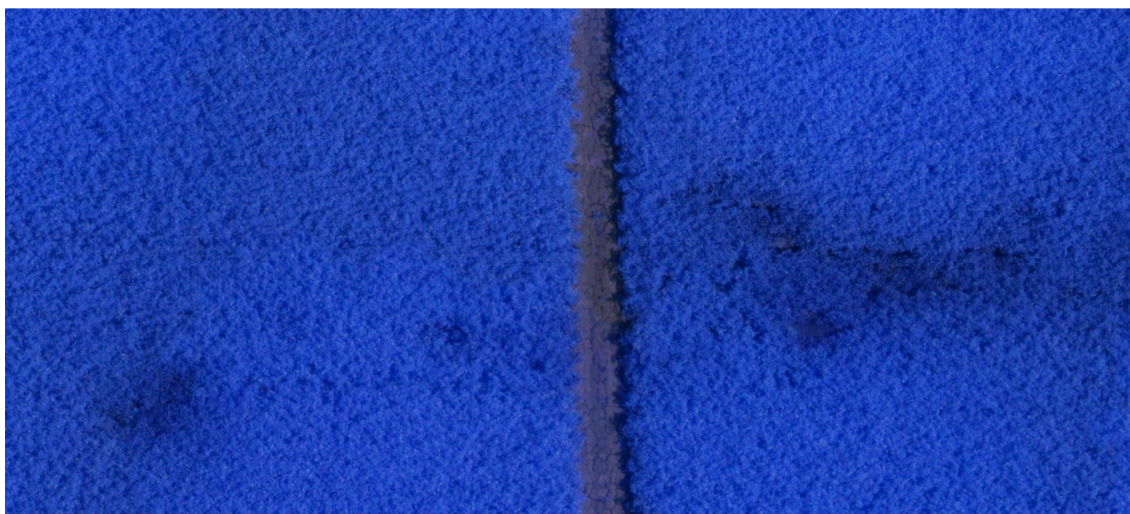


איור 7 – מדידות ספקטראליות

במהלך העונה בוצעו מדידות ספקטראליות במעבדה ובשדה. באיור 7 מוצגות תוצאות אופייניות של ספקטרום ההחזר. התוצאות המסומנות lab נמדדו מדוגמאות שהובאו למעבדה, התוצאות המסומנות Field נמדדו בשטח. ניתן לראות כי ההחזרה מהכנימה נראית כלבן בכל תחום המדידה. פרח צעיר בצבע צהבהב קרסהינו מחזיר אף הוא בפס רחב אך נבדל מהכנימה בתחום הכחול. עובדה זו נוצלה בהגדרת המסווג שתוצאותיו הוצגו בטבלה 3. בהשוואה בין עלה בריא לעלה עם "פיחת העלים" אנו רואים את העלמות השיא הירוק ועליה בתכולת הצבעים עד האדום מחד ומאידך החזרה נמוכה שמתאפיינת במראה סגול-שחור. הפרש זה ייושם בעתיד במסווג המתוכנן לזהות שטחים חשודים מדאון (איור 3).

צילומי NIR

הנגיעות בעלווה נראית מארכי גל ירוקים ועד ל NIR. התחום הכחול נראה פחות בשדה. כרגע הפיתוח מתרכז בתחום הנראה ולא ב NIR כיוון שהוא זמין יותר. בהמשך נבדוק האם ניתן להשתמש באינפורמציה מה NIR כאמצעי תומך בסיווג. תמונת NIR של אזור נגיעות מוצגת באיור 8.



איור 8. צילום מדאון מעל מוקד נגיעות דרך פילטר NIR המעביר אורך גל 950 nm. בשחור רואים את הירידה בהחזרה ב NIR.

6. סיכום ממצאים ודיון מטרות המשך

נבחנו כושר החישה והספק החישה של כטב"ם דאון וכטב"ם רחפן. נמצא כי הדאון בעל הספק עבודה המתאים לחישה מעל שדה אך איננו בעל רזולוציה מספקת. מאידך רחפן יכול לספק רזולוציה מספקת אך בהפעלתו בניסוי בפועל למדנו כי הוא מוגבל בכושר הניווט (בהרבה דגמים מונחה ידנית בלבד), רגיש לרוח, דורש החלפת בטרייה כל 10-30 דקות טיסה, מוגבל למהירות טיסה של 5-10 מ/ש. לכן נראה כי יקשה עליו לנטר באופן שיטתי שדה של מאות דונמים. בנוסף גם אם ייושם ניטור בכלי מרחף מרבית הניטור יצטרך להיות בגובה גבוה שכן ירידה בגובה משמעותה עליה משמעותית במספר התמונות שיש לנתח.

בפיתוח האלגוריתם הושקע מאמץ בייעול החישובים בכדי לעמוד בנפחי המידע (כ 1000 תמונות לשדה). בהתאם לחוזקות ומגבלות האמצעים הקיימים הוצע מודל הפעלה פרמידיאלי שבו המידע מנותח בשלושה שלבים. על

בסיס תוצרי המערכת עד כאן נמצא כי שילוב של אמצעי החישה מוביל ליתכנות טובה למימוש כלי עזר לניטור עבור פקח המזיקים.

7. סיכום ביצוע מטרות המחקר העיקריות:

1. **פיתוח אלגוריתם ייעודי לחיפוש מטרות חשודות מחוץ לשדה ראייתו של הפקח ויצירת מפת נקודות חשודות למיקוד מאמצי פקח המזיקים בניטור בשדה:** הסתיים תהליך כתיבת אלגוריתם בסיסי המאפשר הפעלה של סכמות סיווג ע"ג התמונות שצולמו מהדאון באופן אוטומטי (בפרויקט ביולי צולמו 800 תמונות). המערכת יודעת להפיק מפת קורדינאטות לquadcopter מנמיך טוס ו או פקח המזיקים.
2. **חקירת השפעת רזולוציה ומהירות טיסה:** הממצאים מראים כי בהגדלות הקימות וצילום בזמן החשיפה הקצר אשר יושם בניסוי (1/1000 שניה), הנובע מרמת התאורה האופיינית, המערכת איננה רגישה למהירות התנועה. מבחינת גובה הטיסה נמצא כי 15 מטר הוא גובה טיסה נוח לניטור ברזולוציה הדרושה לזיהוי צברי הכנימות וכי ניתן להגביה טוס עד ל 40 מטר במחיר של פיקסלים מעורבים.
3. **השפעת רמות הסף על הגילוי:** נושא זה נמצא עדיין במחקר, השפעתו ניכרת, והוא חלק ממטרות ההמשך.
4. **בדיקת אפשרות טיסה בשני שלבים, שילוב השימוש בכטב"ם טס הנע במהירות של 80 קמ"ש ללא עצירה:** רעיונות אלו יושמו ושוכללו לכדי תפיסת ההפעלה המוצעת שבה ינוצלו הכטבמ"ם השונים לניטור מיטבי.
5. **ביצוע ניסויים:** כל שלבי העבודה בתוכנית בוצעו למעט מדידות תומכות מראש תורן קרקעי של מטרות סטטיות שלא נמצא בהן צורך בשלב זה.

8. משימות להמשך - אושרה תוכנית המשך לשנת 2016

1. ניתוח סטטיסטי של המידע הספקטרי שצולם לצורך שיפור קריטריוני הצבע לסיווג. בנוסף יש להעמיק את הלימוד ויישום של בחירת רמות סף באופן אוטומטי ואדפטיבי ולפתח מסווג תומך למיון אזורי העניין בתמונות הדאון בשילוב מידע מתחום ה NIR.
2. הרחבת מסד הנתונים ע"י ביצוע ימי ניסוי נוספים לצורך שיפור האלגוריתמים. ובמידת האפשר הרחבת הזיהוי בשלבי גידול מוקדמים יותר.
3. בחינת דיוק מיקום הקואורדינטות במפת היעדים החשודים ל quadcopter ושיפור מודל החישוב.
4. פיתוח קריטריון סטטיסטי לרמת הסף לקביעת האנומליות בשדה.