

# זיהוי מוקדם של פטריה *Macrophomina phaseolina* בצמחי כותנה מהזן פימה באמצעות מדידות ספקטרליות וצילומי רחפן

אנה ברוק<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>

<sup>1</sup>מעבדה לספקטרוסקופיה וחישה מרחוק, אונ' חיפה, [abrook@geo.haifa.ac.il](mailto:abrook@geo.haifa.ac.il)

<sup>2</sup>מגדלי הדרום, [bosak@bezeqint.net](mailto:bosak@bezeqint.net)

שנת מחקר 2023

## תקציר:

פטריית קרקע *Macrophomina phaseolina* הנה מחלה קשה במיוחד להדברה משום שהיא שורדות בקרקע לזמן רב ובעלת טווח רחב של פונדקאים. מטרת המחקר היא לרתום אמצעים טכנולוגיים (כגון צילומי רחפן ומידע ספקטראלי) לזיהוי מוקדם של המחלה בשדה. לטובת זיהוי מוקדם ופיתוח כלים למעקב אחר התפתחות המחלה בחלקה במספר חלקות, הוצע אלגוריתם חכם (מבוסס למידת מכונה). תוצאות המחקר מצביעות על זיהוי מוצלח את המחלה, בנוסף התוצאות מראות כי ניתן לקשור בין עיתוי ההדבקה (תאריך זיהוי באמצעות האלגוריתם) עם חומרת המחלה.

## הקדמה:

פגיעה בצמחי כותנה מהזן פימה נגרמת כתוצאה מפגיעה של פטריית הקרקע *Macrophomina phaseolina* מחלה שוכנת קרקע זו ידועה בפגיעתה בכותנה ברחבי העולם. *M. phaseolina* מזרעים (ידועה הפצה מזרעים?) וקרקע בעלת תפוצה פתוגנית רחבה (Dhingra and Sinclair, 1978). הפתוגן נמצא בקרקע ופוגע בשורשי הכותנה במיוחד בתקופה המאוחרת של עונת הגידול (Aly et al., 1996). שורשי הצמחים הנגועים נרקבים, הצמחים נובלים ובסופו של דבר מתים (Khan et al., 2017). במהלך ההדבקה של הצמחים, הפטרייה מייצרת אנזימים שפוגעים בדופן התא, כגון (Javaid and Saddique, 2011) אנזימים הידרוליטיים, (Kaur et al., 2012) ופיטוטוקסינים וביוטריידיפלואידי (Ramezani, 2008; Bressano et al., 2010).

טיפול נגד *M. phaseolina* בשלב התפרצות המחלה חסר יעילות (Aly et al., 2006). על אף שהדבקה ראשונית על ידי *M. phaseolina* מתרחשת בשלב השתיל הנבט, אין זה אומר שהצמח חולה, אלא אם בשלבי צימוח הבאים (עד לבגרות) הצמח לא גדל בתנאים אופטימליים, הוא נדבק (Dhingra and Sinclair, 1978) ומזוהה כצמח חולה. עם זאת, נראה כי *M. phaseolina* משפיע על זני כותנה מסוימים בצורה פחות חמורה מאחרים, מה שמעיד על קיום של עמידות גנטית פוטנציאלית ל- *M. phaseolina* (Watkins, 1981; Lee et al., 1986; Monga and Raj, 1996, 2000; Turini, 2001). הבנה ברורה של מידת השונות ברגישותם של זני הכותנה ל- *M. phaseolina* תעזור בהפצת זני הכותנה בעלי עמידות גבוהה. הפרקטיקות הנוכחיות לבקרת מחלות צמחים מבוססות בעיקר על פיתוח זנים עמידים ועל יישום של חומרים ביולוגיים (Emmert and Handelsman, 1999). בקרה ביולוגית זוכה לתשומת לב רבה בשל העלות הנמוכה והיישום הידידותי לסביבה. נראה כי ביו-בקרה עם מיקרואורגניזמים מועילים היא גישה מבטיחה לניהול שדות כותנה (Howell, 1982; Howell et al., 1997; Howell and Puckhaber, 2005).

*M. phaseolina* גורמת לאובדן משמעותי בייצור על ידי צמצום אוכלוסיית הצמחים בחלקת הגידול (Khan et al., 2016). לכן זיהוי מוקדם של המחלה ומעקב אחר התפתחותה יעזור למגדל בניהול החלקה. לעומת המחקר הביולוגי הרחב, למיטב ידיעתנו מעט

מאוד מחקרים עוסקים בפיתוח כלים לזיהוי ומעקב אחר המחלה בשדה. המחקר הנוכחי מציע לרתום את אמצעי חישה מרחוק לזיהוי מוקדם של פטריה M. phaseolina בצמחי כותנה מהזן פימה. זיהוי מתבצע על בסיס צילום מרחפן שמפוענח ע"י אלגוריתם חכם (מבוסס מכונה לומדת) הקולט את המידע הספקטרלי ההדמאתי, מפת הפרשי גובה מצילום קודם (ההמלצה לצלם פעם בשבוע/שבועיים), מפת ביומסה מפענוח ספקטראלי (מפה מופקת ע"י רשת נירונים קיימת בחברת "אגרדע") ומפת מרקם מבוססת אינדקס GLCM המחושבת למודל פני השטח (DSM) שמופק מצילומי רחפן.

## מהלך המחקר – שיטות ותוצאות:

לצורך המחקר חיפשנו חלקות של כותנת "פימה" בהן יופיעו סימני המחלה מוקדם ככל האפשר. האיתור הראשון היה בחלקה ב"בני דרום", ולאחריה חלקה מסחרית ב"קבוצת יבנה". המקרופומינה לא הופיעה בחלקות "חולדה" וחלקת ניסוי ב"כפר מנחם". החלקות צולמו ועובדה למיפוי קטעים "חשודים" כנגועים בתחילת אוגוסט 2023. על פי מפה זו סומנו בשדה כל שדה עם מקרופומינה כ-15 נקודות: 5. נקודות "חשודות" ו- נקודות "נקיות" ו-5 נקודות עשבייה לפי מפת הזיהוי המוקדמת.

כדי לאמת את נוכחות המחלה בכתמים שאובחנו בעין כנגועים, דגמנו בבני דרום, ב 1 לאוקטובר, מ 5 כתמים בהן זוהתה המחלה, 8 צמחים מכל כתם. ובנוסף עוד 8 צמחים נדגמו מאזור הנמצא מדרום לכ"א מהכתמים במרחק של 10 מ', שם הפגיעה מהמחלה פחות בלטה. כדי למנוע "נעילה" על צמחים שנראים כנגועים, דגמנו את הצמחים כך שמרחק קבוע בן 3 צמחים הפריד בין הצמחים שנדגמו. הדגימה בכל כתם בוצעה מ 2 השורות שעל גבי הערוגה. לכל אחד מהצמחים הסרנו את קליפת הגבעול החיצונית (המשועמת) ובחנו את נוכחות הן בחלק התחתון של הגבעול והן בחלק העליון של השורש המרכזי, הסמוך לפני הקרקע.

כדי לאמת זאת, מכל נקודה נדגמו 8 צמחים. הדגימה כללה את החלק העליון של מערכת השורשים (הסמוך לפני הקרקע) ואת חלקו התחתון של הגבעול הצמוד לשורש. סימן שדה ידוע ומקובל לזיהוי המחלה הינו מציאת כתמים חומים על החלק החיצוני של הגליל הלבן של הגבעול, המתגלה מתחת לקליפה החיצונית החומה.

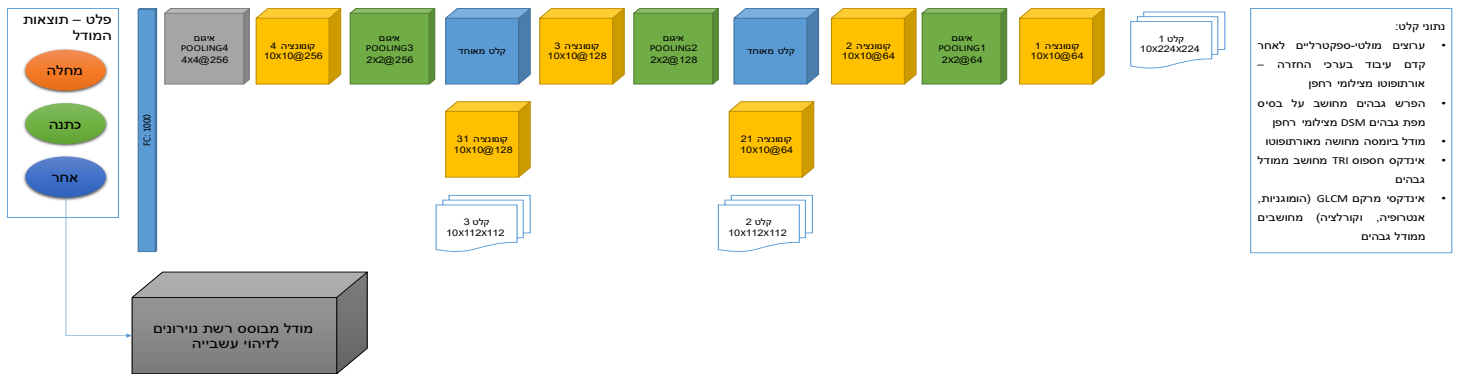
עבודה בשדה כללה:

- צילומי רחפן ומודל פוטוגרמטרי (אורתופוטו ומודל גבהים DSM), צילום מגובה 70 מ' ועיבוד בתכנת Pix4Dmapper.
- מדידות גובה בשטח

בסוף עונת הצימוח נדגמו צמחים מהאזורים החשודים ומאזורים בהם לא זוהתה המחלה לטובת אימות קרקעי. בנוסף, ביצענו הערכת יבול על ידי אלגוריתם מאומן על בסיס מכונה לומדת. ביצענו התאמה מרחבית בין תוצרי המודל למפת יבול דיגיטלית.

במהלך שלושה שבועות בוצעו מדידות ספקטרליות באזורים חשודים למחלה ומאזורים בהם לא זוהתה המחלה. בסיום עונת הגידול נדגמו צמחי כותנה לטובת אימות קרקעי.

אלגוריתם לזיהוי מוקדם של מקרופומינה כלל את השלבים הבאים:

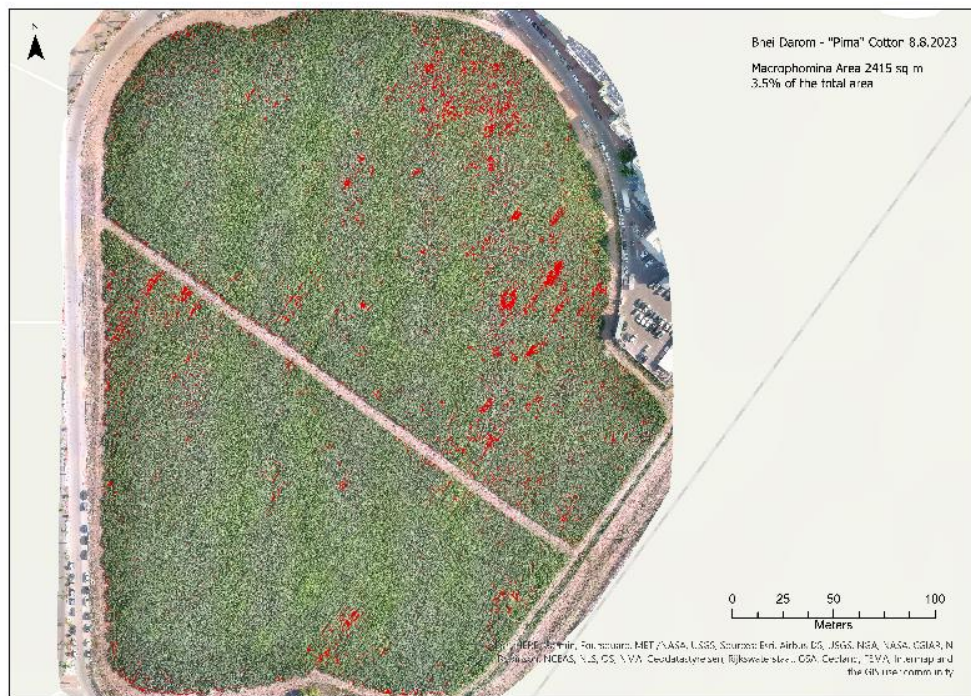


- 1) חישוב שלל אינדקסים ספקטראליים לבריאות הצמח בתחום אור הנראה ותת אדום הקרוב.
- 2) מפת הפרשי גובה בין כל צמד צילומים (בעדיפות להפרש של שבוע עד שבועיים בין הצילומים).
- 3) חישוב מקדי מקרם וחספוס לפי תוצרי DSM (תוצרי GLCM ואינדקס TRI).
- 4) פיתוח מודל ספקטראלי מבוסס מכונה לומדת לפי אורכי גל של הרחפן (475,560,668,717,840 ננומטר).

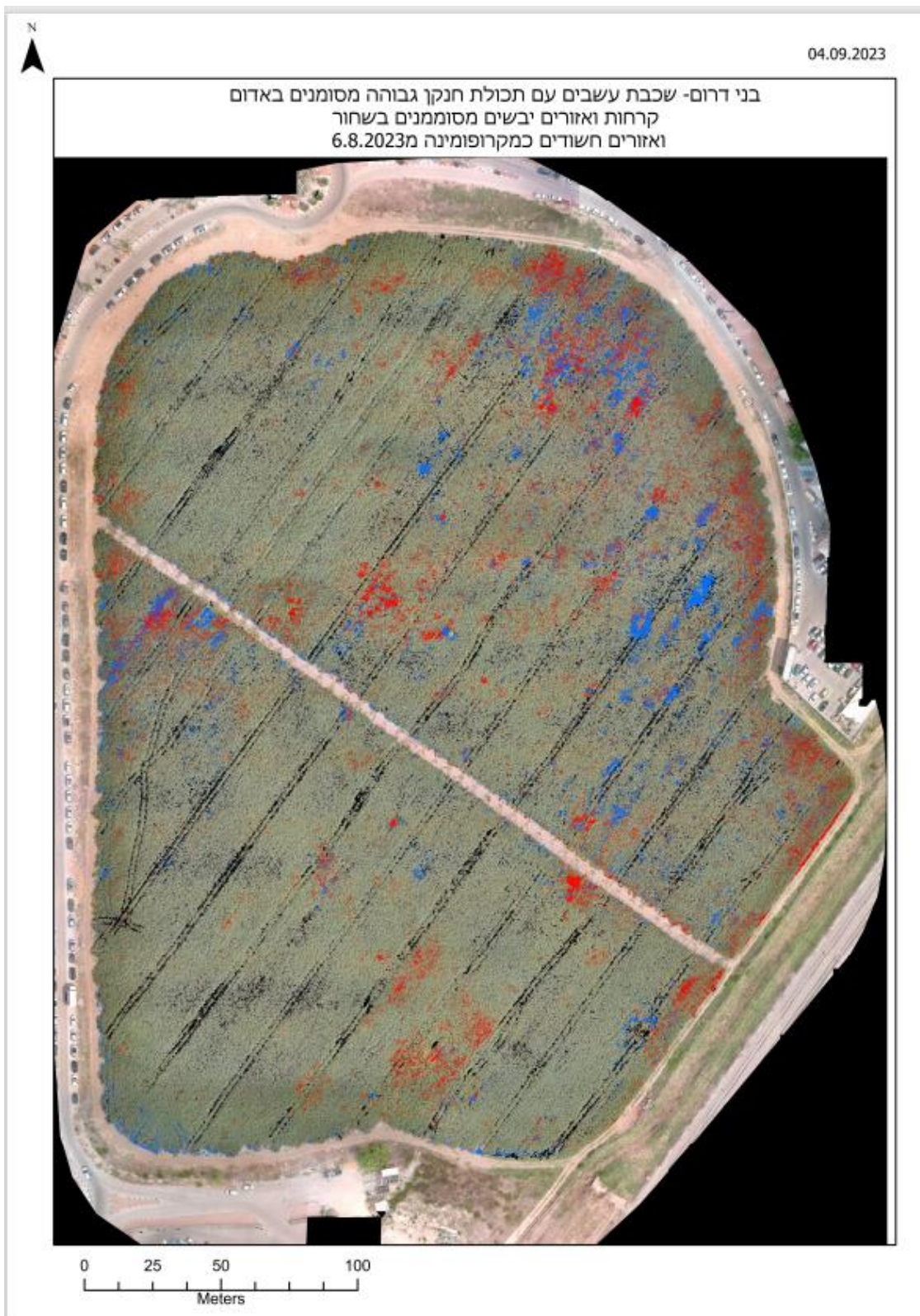
שלב נוסף בניתוח היה לחקור ולבסס יכולת לזהות דפוס זהה לתפרוסת המחלה שהתגלה באמצעות האלגוריתם מצילומי רחפן על בסיס צילומי לוויין. לטובת נושא זה, נבחר לוויין מולטיספקטראלי מבית PLANET עם ערוצים בתחום אור הנראה ותת אדום הקרוב ברזולוציה מרחבית 3.7 מ' לפיקסל.

## תוצאות

בני דרום – בחלקה הנקראת מוסך 1 בה גידולו תירס בעונת 2022, נזרעה כותנת פימה מהזן V-70 ב 28/3/2023. חלקה מסחרית בתאריך 6 לאוגוסט זהו כתמי מקרופומינה (מסומנים באדום) בשטח כולל של כ-2,500 מ"ר שמהווים כ-3.5% משטח החלקה.

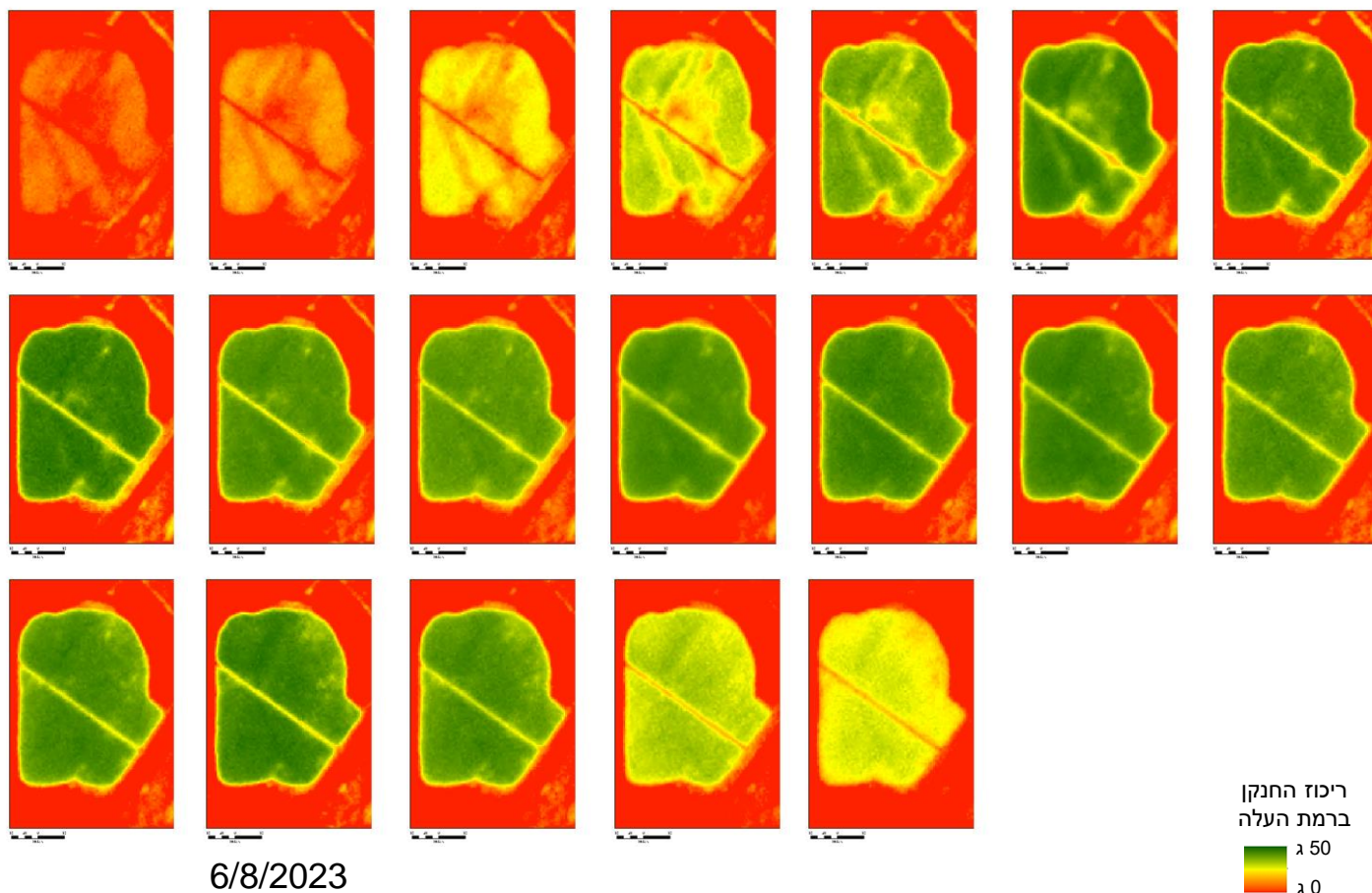


ב-4 לספטמבר נצפו בחלקה כתמי יבשים וכתמי עשבים מפותחים. הצילום בוצע לפני הפסקת השקיה ולכן כתמי יבשים סומנו כחשודים למקרופומינה (כ-6.3% ממשטח החלקה).

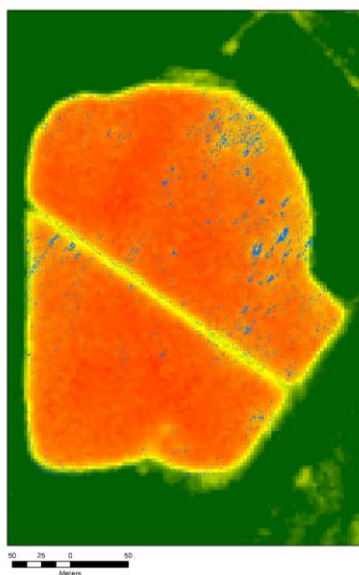


החלקה נוטרה באמצעות לוויין PLANET ומדד ביומסה באמצעות מודל לכימות תכולת החנקן בעלים מתאריכים: 6.6, 30.5,

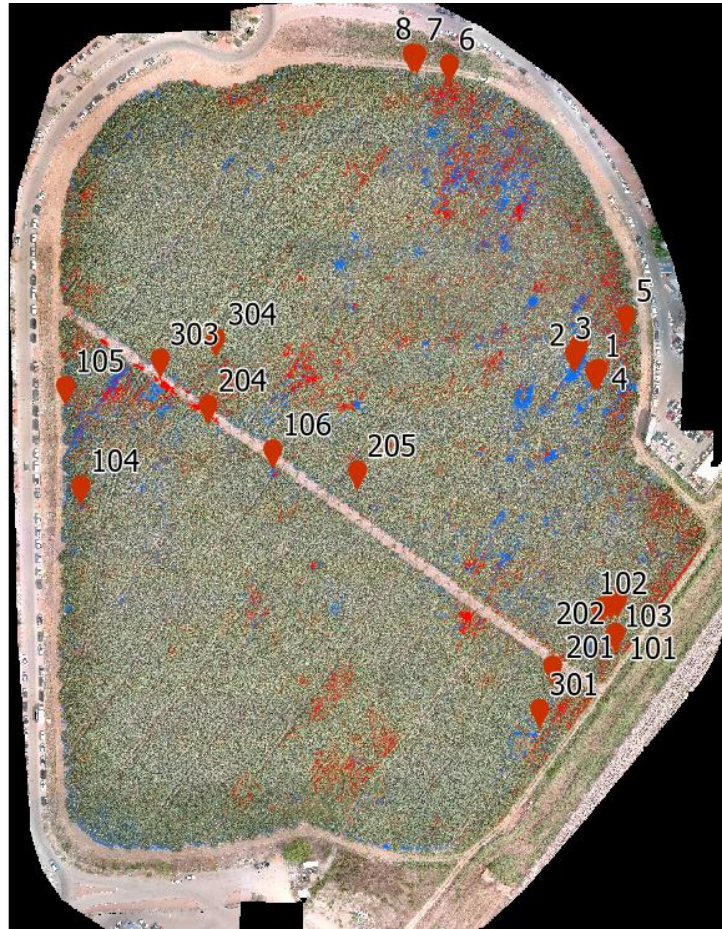
26.8, 23.8, 15.8, 10.8, 6.8, 2.8, 28.7, 25.7, 20.7, 16.7, 12.7, 5.7, 1.7, 28.6, 20.6, 16.6, 11.6



ניתן לראות התאמה מרחבית מדויקת בין ירידה בריכוז תכולת החנקן בעלים (אומדן מצילום לוויין) לזיהוי מקרופמינה מצילומי רחפן (מסומן בכחול)



אימות קרקעי בבני דרום – עם סיום השקיה, נדגמו קרקעית אזורים הבאים:



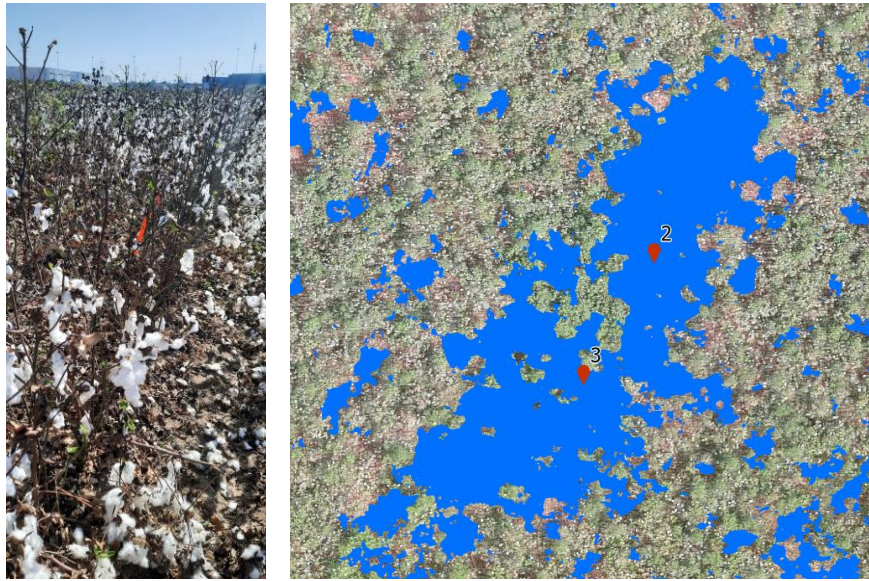
כתמי מקרופמינה (סימון כחות) מאומתים בשטח (סימון אדום)



1 – תיעוד מסקר שטח: כתם קטן עם מספר בודד של צמחים

4 – תיעוד מסקר שטח: כתם מפוצל

2 ו-3 – תיעוד מסקר שטח: כתמים גדולים מאוד, כפי שניתן לראות מצילום בשטח (צילום לאזור מס 2)



5,6,7,8 – תיעוד מסקר שטח: כתמים לא גדולים



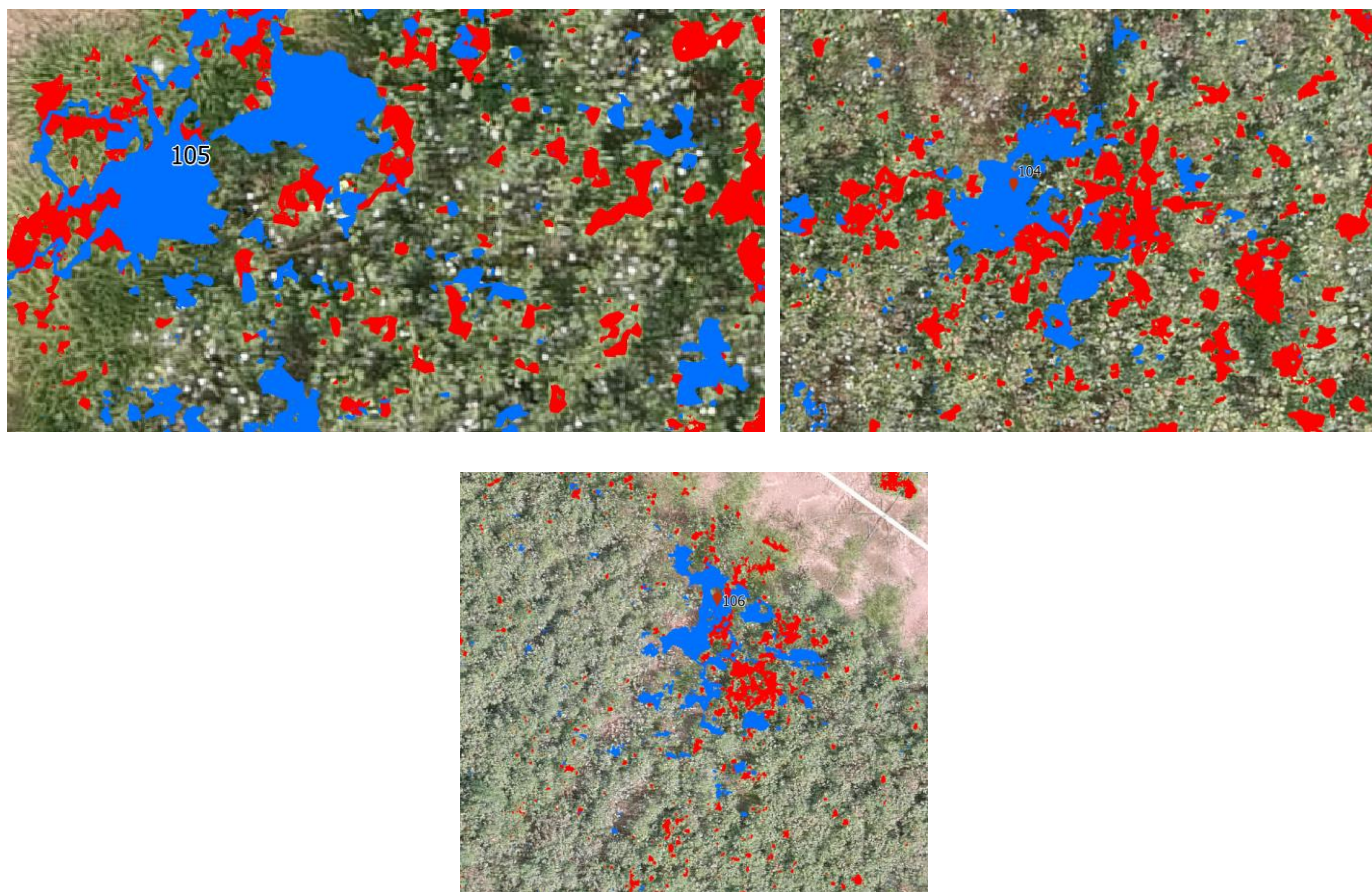
תוצאות לפי כתמי מקרופומינה ודיגום צמחי כותנה מהחלקה

בקורת" - מצב קיים 10 מ' מדרום לכתם המקרופומינה			כתם מקרופומינה לאימות כתמים חשודים לפי מפת רחפן			
מס' נקודת דגימה	מס' צמחים שנדגמו	מס' צמחים נגועים	אחוז צמחים נגועים	מס' צמחים נגועים	מס' צמחים שנדגמו	אחוז צמחים נגועים
1	8	5	62.5	8	4	50
3	8	3	37.5	8	3	37.5
4	8	6	75	8	3	37.5
5	8	7	87.5	8	3.5	43.75
6	8	6	75	8	1	12.5

101 102 103 106 - תיעוד מסקר שטח: כתמים לא גדולים, בפענוח יצאו כתמים מוקפים עשבים



104 105 106 - תיעוד מסקר שטח: כתמים גדולים מוקפים בעשבים



201 202 203 205 - תיעוד מסקר שטח: אזורים ללא מקרופומינה ( התגלו בפענוח עם כתמי עשבים בודדים)



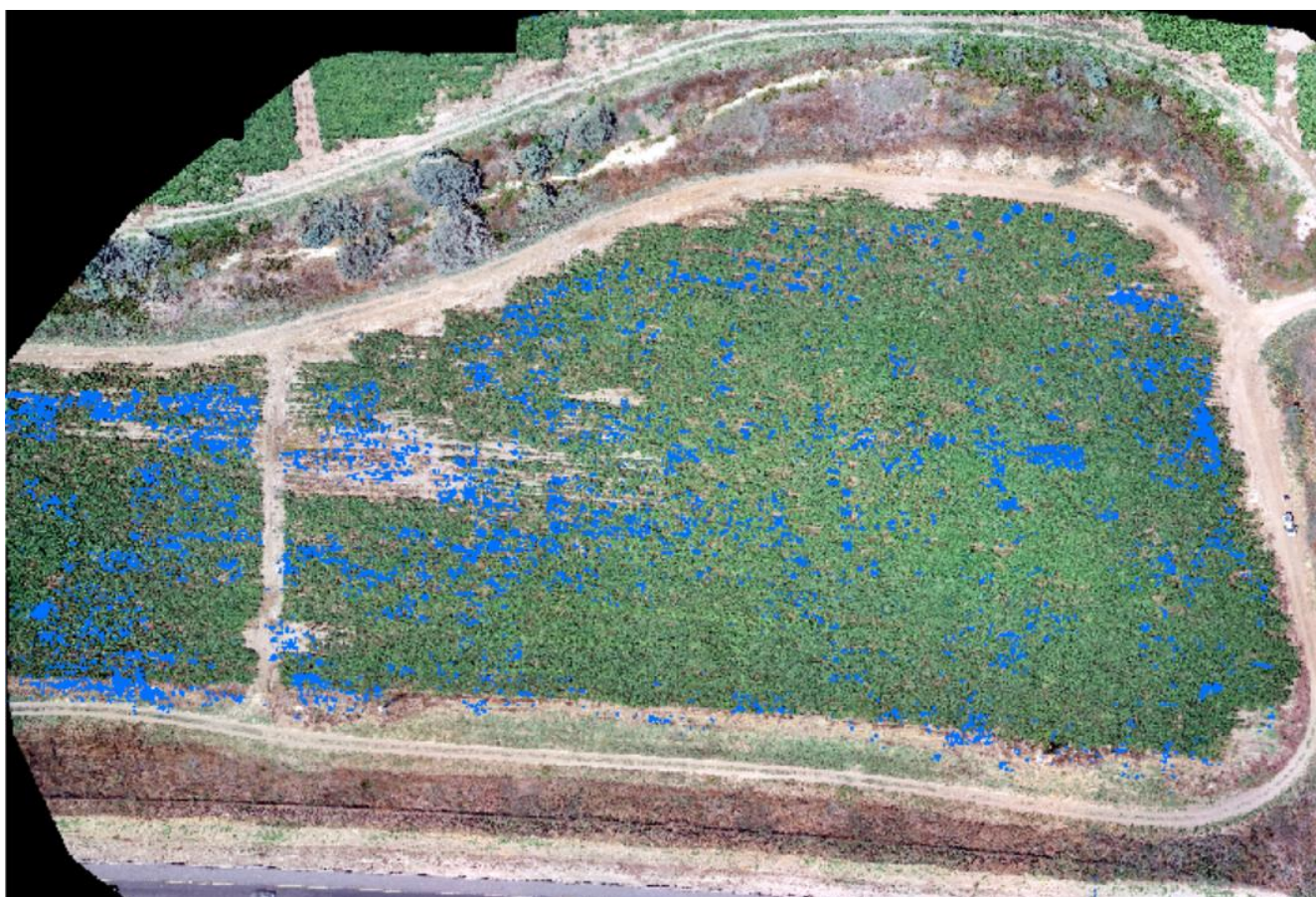




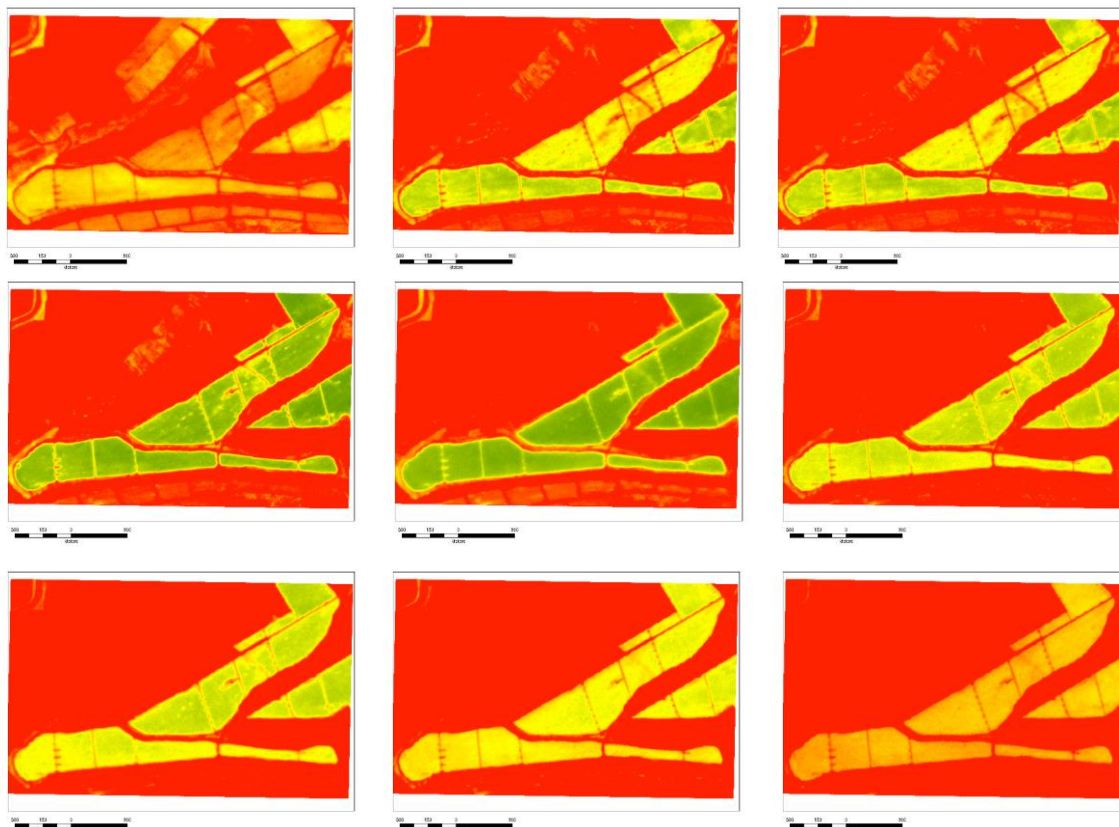
חלקה מסחרית בחולדה –

החלקה נקראת "שער" הכרב אבטיח מללי הזריעה ב 2 מועדים: 4 ו- 9 לאפריל 2023. זן כותנת הפימה גוליית 6.

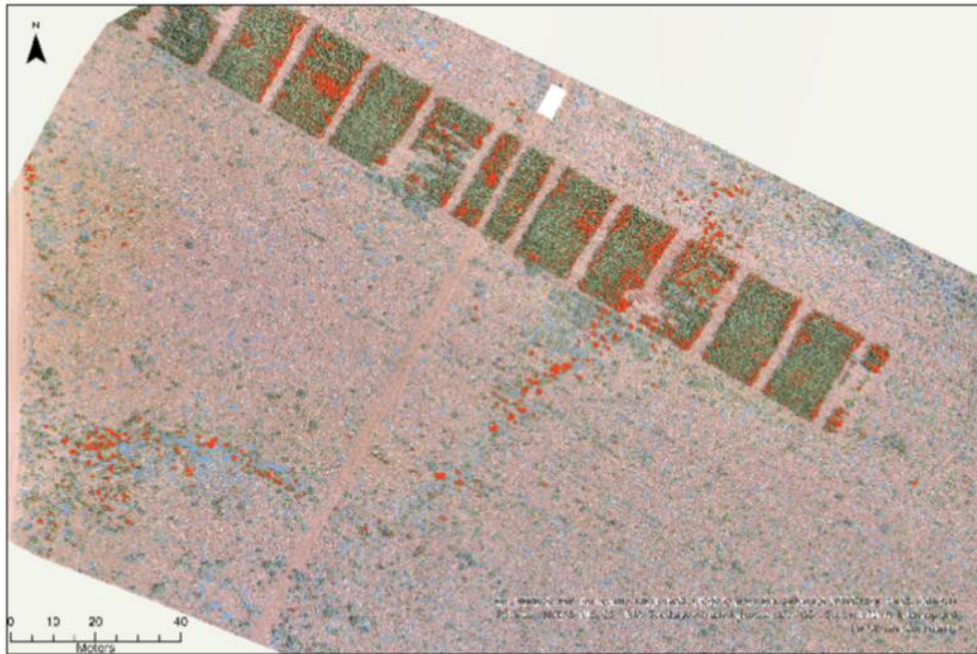
לא מצאנו מקרופומינה רק עשבים (כ-8% משטח החלקה)



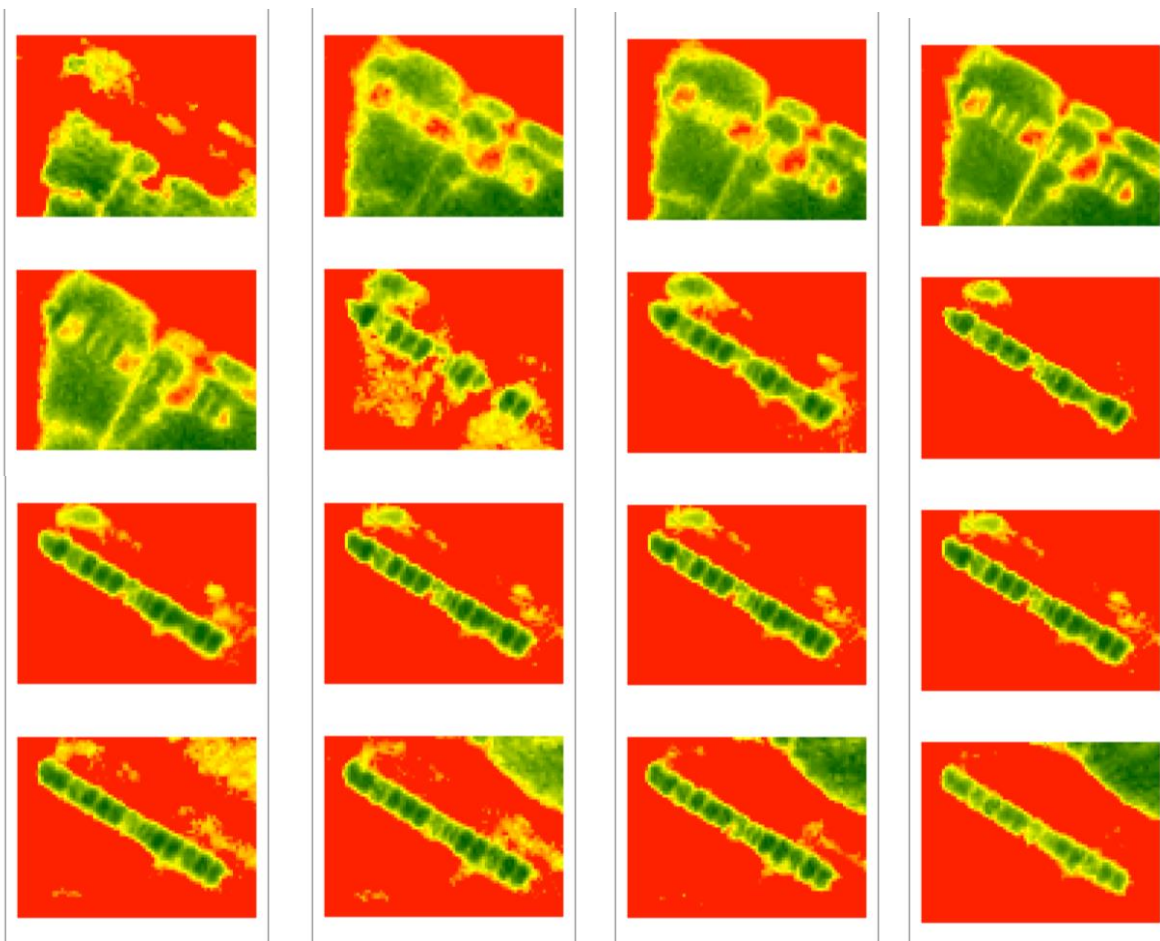
כמו שניתן לראות מצילומי לוויין, אין סממנים לירידה בתכולת החנקן בעלים, לכן גם לפי הלוויין לא היה זיהוי למקרופומינה.



חלקת ניסוי בכפר מנחם – בחלקה 166 בשטחי כפר, מנחם השייכים לשותפות צבר קמה הוצב ניסוי שנועד לבחון טפולים שונים כנגד מחלת המקרופומינה וכן לתעד את הדינמיקה של התפתחות המחלה. בחלקה זו נפגעה קשות כותנת פימה שגדלה בה בעונת 2022 מהמקרופומינה. בתוך חלקה זו בה גידלו בעונת 2023 אבטיח לגרעינים, זרענו שוב כותנת פימה בפס שרוחבו 24 מ' ואורכו כ 200 מ'. הכוונה היתה לעבוד בחלקה בה סכויי הופעת המחלה גדולים. במהלך העונה בבקורים תכופים לא זיהינו, להפתעתנו, כל גלוי של המחלה. חומר למחשבה. כאמור גם בצילום לא נראו סימני המחלה. אך תועדה עשבייה בעחלקה ללא מקרופומינה. בחלקה גילינו 2 סוגי עשבים (מסומנים באדום וכחות)



כמו שניתן לראות מצילומי לוויין, אין סממנים לירידה בתכולת החנקן בעלים, לכן גם לפי הלוויין לא היה זיהוי למקרופמינה.

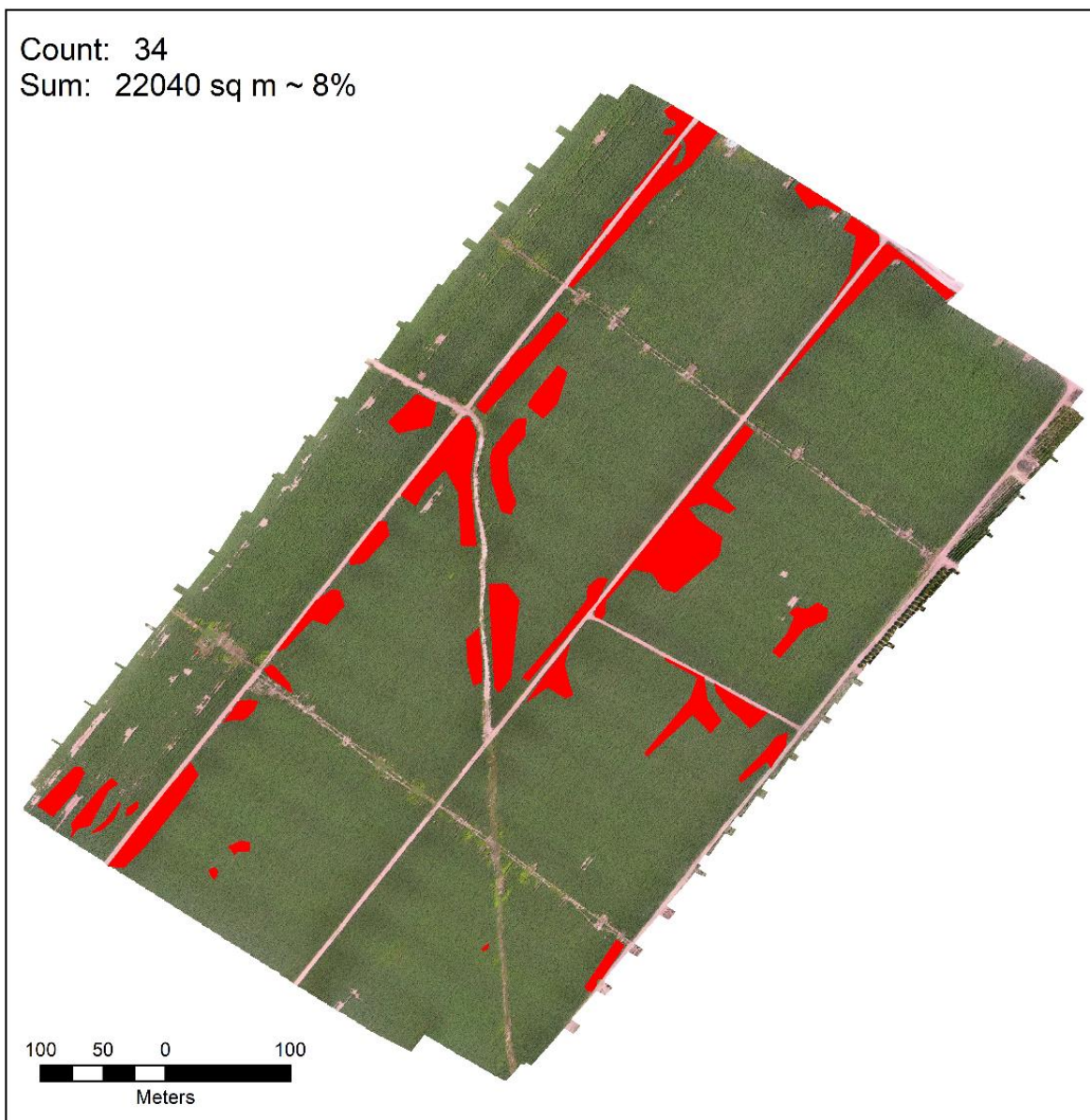


חלקת מסחרית ביבנה – חלקה עם מקרופומינה כ-8% משטח החלקה ב-6.8.2023

חלקת כותנה בקבוצת יבנה- בקבוצת יבנה עקבנו אחר חלקות 16, 17 ו-18. בחלקות בהן גידלו תירס בעונת 2022 נזרעו כדלקמן:

חלקות 17 ו-18 נזרעו בזן V-70 ב 13/3/2023.

חלקה 16 בזן גליית 6 ב 27/3/23.



1 3 4 5 - תיעוד מסקר שטח: כתמים נגועים במקרופומינה, נקודה 6 תועדה לאזור ללא מקרופומינה



11 - תיעוד מסקר שטח: כתם נגוע במקרופומינה, נקודות 7 9 10 תועדו כאזורים ללא מקרופומינה



12 - תיעוד מסקר שטח: כתם נגוע במקרופומינה



## מסקנות:

במסגרת המחקר פותח כלי יישומי לזיהוי וניטור של פטריה *Macrophomina phaseolina* בצמחי כותנה מהזן פימה באמצעות מדידות ספקטרליות וצילומי רחפן. פותח אלגוריתם חכם למיפוי בשדה. הצלנו לקשור בין עיתוי בו זיהינו את המחלה לחומרת המחלה. התוצאות אומתו ברמת השדה ע"י דיגום צמחים בחלקה. הוכח כי באזורים שסווגו כאזורים ללא מחלה, אכן לא נמצאו צמחים חולים (דיגום קרקעי). הצלחנו לזנות סממנים ראשוניים למקרופומינה לפי צילומי לוויין מחברת PLANET שיכולים להוות מפוי רציף לאורך עונת הגידול ולהכוון את צילום רחפן לאזורים חשודים בלבד.

פותח פרוטוקול עבור המגדלים לאופן צילום ואיסוף נתונים (נפח לדוח)

פותח פרוטוקול למועצת הכתנה עבור שמירה של נתוני הצילום (נפח לדוח)

נשלחה טבלה למגדלים לריכוז מידע לגבי זיהוי מקרופומינה (לטובת בחינת ביצועי לוויין ככלי לניטור אזורים חשודים) – נספח לדוח.

בחוקרים מודים למועצת הכותנה על התמיכה ומימון המחקר. בנוסף, החוקרים מודים למגדלי הדרום וחברת "AGRO DRONE" שבראשה עומד מר דוד בר על עבודת השדה, צילומי רחפן, תמיכה ועזרה.



# הלקטים

10 באוגוסט 2023

ידיעון למגדלים

ההכנות לקראת תחילת עונת הקטיף בעיצומן.

ב-21 לחודש אנחנו מתכננים לבצע הרצה במנפטת העמק מתוך כוונה להגיע לעונה מוכנים עד כמה שניתן. גם נושא איתור מחסנים נוספים, במיוחד בדרום נמצא בהילוך גבוה, וכבר בימים הקרובים נסגור חוזים על מנת להבטיח מספיק מקומות אחסון.

מחירי הפימה הרשמיים לא השתנו והם מיוצבים על 230 סנט/ליברה. ועם זאת, קצב ההזמנות עדיין נמוך. כפי שאמרתי בעבר, אני צופה תחילתה של התעוררות והגברת קצב הזמנות החל מחודש ספטמבר, וזאת לאחר הירידה במלאי הכותנה הזול אשר עדיין קיים במטוויות.

השבוע קיימתי פגישה עם פרופ' אנה ברוק ואריה בוסק בנושא צילומי רחפן בחלקות החשודות במקרופומינה. מבקש לחזור ולהדגיש כי יש להזמין נציג של הקנט במקרה של חשד לקיומה של מקרופומינה. הביטוח הוא ברמה של חלקה בודדת. כפי שכתוב בפוליסה, הקריטריון הקובע לפיצוי הוא תפוקה של פחות מ-170 ק"ג סיבים לדונם. עם זאת אנו נדרשים לבצע צילומי רחפן של החלקות החשודות. מצורפות הוראות לגבי צורת הצילום ע"י הרחפן וכן לגבי שמירת הצילומים במחשב. הצילומים חייבים להתבצע בין התאריכים 16/08/23 ל-28/08/23 (עד גמר השקיה).

כפי שחזרתי והדגשתי בעבר, כולל בשיחות שלי עם אנשי הקנט, השנה היא שנת פיילוט בה נלמד כולנו את ההשלכות של סעיף הביטוח בנושא המקרופומינה ובסוף העונה נסיק את המסקנות הנדרשות לגבי ההמשך.

אנו מוציאים השבוע למרכזי המזון, לרפתות ולמכונני התערובת את המסמכים הקשורים במכרז הגרעינים לעונת 2023 וזאת לאחר שנתנו ארכה למגדלים המעוניינים להזמין גרעינים. נקווה למחירים טובים.

ב-16/08/23 יתקיימו סיור וכנס לקראת שילוך וניפוט במשקי הדרום. אנחנו קוראים לכל המגדלים אשר מיועדים לנפט בסיבי הדרום להשתתף בכנס בו יודגשו נקודות קריטיות הקשורות לסגירת מים, שילוך, קריאת גליליות הכותנה לתוך מערכת המחשב, איחסון הגליליות לאחר הקטיף והניפוט עצמו. כנס דומה יתקיים ב-5/09/23 במפעלי העמק.

אתמול, יום רביעי, נפרדנו מאבו וילן כמזכ"ל התאחדות חקלאי ישראל, לאחר 14 שנים בתפקיד. מבקש בהזדמנות זו להודות לאבו על עזרתו רבת השנים במסדרונות הממשל, לקידום נושאים הקשורים לקיומה של החקלאות בישראל, וכן לגידולי השדה בכלל והכותנה בפרט. נאחל הצלחה לאורי דורמן, מחליפו של אבו בתפקיד חשוב זה.

יזהר לנדאו

מנכ"ל

תמיד בלוארתי פתח  
לכתקוואה  
אפילו כלככתה פאפה  
חלמתי צלם ימים יותר יפים  
אפילו בחלומות לינה  
טרופים.

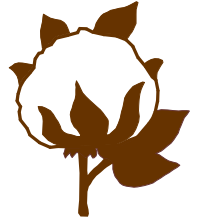
אפילו ברחוב ראלי סואן  
ראיתי איל יולב ומנגן  
פגלתי אנשים מאולרים  
אפילו בין לביים צפר  
צרים.

לא פלץ זה קלף  
אבם לרוב מינה טובה  
מיד צולף די טוב  
רק מינה טובה  
או לתיים לא יותר מזה.

אפילו הלרוב הכי כהה  
יצתי לפגלם צוז ירד  
ראיתי בחלום לצי ציפור  
אפילו במלך סופה וקור.

יעקב גלעד

**המועצה לייצור ושיווק כותנה בע"מ**  
**The Israel Cotton Production & Marketing Board Ltd.**



רח' נתיבות 3, ת.ד: 384, הרצליה ב' ISRAEL 4610302 P.O.Box: 384, Herzlia B'  
Tel: 972-9-9604003, Fax: 972-9-9604010 09-9604030 :פקס (רב-קווי), טל': 09-9604000

10/08/23

**מדריך לצילום חלקות כתנה נגועות במקרופומינה**

הצילום יתבצע בין 16.8.2023 ל-28.8.2023 (עד גמר השקיה).

- צריך לצלם את כל החלקה כולל אזור שולים לחלקות שכנות, כך שפוליגון הסריקה יחרוג בכ-10-15% מגבולות חלקת העניין.
- יש לצלם באמצעות רחפן עם מצלמת RGB כגון DJI PHANTOM או DJI MAVIC בעדיפות לסדרת PRO. אם הצילום יתבצע עם רחפן ומצלמה של חברות אחרות יש לספק את שם יצרן הרחפן ואת המפרט הטכני של המצלמה.

**קונפיגורציית הצילום:**

- משימת Double Grid שתי וערב
- גובה – 70 מ' מעל הקרקע
- Ground Sampling Distance GSD 2.33 ס"מ לפיקסל
- מהירות טיסה – בינונית עד גבוהה
- זווית המצלמה כלפי הקרקע – 70 מעלות
- חפיפה קדמית וצדדית – 80 אחוז
- EXP: Throttle Up 0.4, Rotate Right 0.4, Forward/Right 0.4
- Pitch, Roll, Yaw: 100 אחוז

יש לצלם באמצעות משימה אוטונומית לפי תכנית טיסה מתוכננת לפני המראת הרחפן באמצעות תכנות הטסה כגון Pix4Dcapture (אם מטיסים רחפן מסוג DLI בעזרת תוכנת Pix4Dcapture לא לשכוח להתקין Ctrl+DJI).

יש לצלם תמונות בדידות לפי תכנית טיסה (לא וידאו) לפי מפרט הבא:

- Image ratio: 4:3
- Image format: JPEG
- Color: Standard
- לאחר סיום משימת טיסה יש להוריד את התמונות מכרטיס זיכרון של הרחפן למחשב אישי ולשמור בענן.
- תיקייה בשם המשק, בתוכה תיקייה עם מספר או כינוי החלקה

במידה ואתם נתקלים בקשיים לעשות גיבוי בענן אנחנו נשמח לעזור.

תודה ובהצלחה!