

צילום מרחפנים בחקלאות, 2022

בשנים האחרונות מתרחב השימוש ברחפנים במגוון יישומים אזרחיים, כגון משלוחים, אבטחה ועוד, ובין אלה החל השימוש ברחפנים גם בתחום החקלאות. במסמך זה אנסוק בשימוש ברחפנים בחקלאות מההיבט של הצילום, המתאפשר בכמה שיטות שונות. השימוש ברחפנים יכול להוות כלי בידי החקלאי לזיהוי תקלות השקיה, עשבייה, מחלות ועוד, ובכך לשפר את ממשק הגידול ולייעל את השימוש במשאבי טבע.



ראשית, יש לשוב ולהזכיר כי חשוב ביותר להקפיד על הבטיחות בהטסה. לעתים מופיעה ידיעה בתקשורת על רחפן שגרם לתאונה והסב נזק לאדם או לרכוש, אך מדי יום ביומו רק במזל נמנעות תאונות כאלה, שאינן מדווחות בתקשורת, אולם הן כמעט גורמות אסון. לפיכך, בראשית דבריי ברצוני להדגיש את החובה על ההקפדה בבטיחות בהטסת הרחפן (מקורות 1, 2, 3, 4).

הצילום מרחפן נחלק לשלושה סוגים בהתאם לסוג המצלמה:

א. צילום רגיל, הנקרא גם צילום באור הנראה או RGB באורכי גל של $0.4-0.7 \mu m$.

ב. צילום מולטי ספקטרלי, באורכי גל של $0.4-2 \mu m$.

ג. צילום תרמי, באורכי גל של $7-15 \mu m$, הנקרא גם Thermal.

ההבדלים בין סוגי הצילום הללו נובעים מהערץ הספקטרלי, מכמות הפיקסלים ומעלות הרחפן. ישנם רחפנים שיכולים לשאת מצלמות מכל הסוגים, אך במסמך זה אתייחס רק לרחפנים בעלי מצלמה מובנית, שאינה ניתנת להחלפה, עקב שכיחותם.

גודל השטח שניתן לצלם תלוי בגובה הצילום (המשפיע על הרזולוציה המרחבית), במיקום החלקות, בסוג הצילום ובנפח הסוללה.

הרזולוציה המרחבית מתבטאת ביחס הפוך ל"זום" של התמונה, כלומר בצילום מגובה רב הפיקסל יהיה גדול יחסית, ולא יתאפשר זיהוי של בעיות בעלים, למשל, אך שטח הצילום יהיה גדול יותר, ולהיפך.

עבור עיבוד נוסף משתמשים לרוב במוזאיקה, שהיא חיבור של כל התמונות לתמונה אחת גדולה, שגודלה בדרך כלל 1-3GB. ליצירת המוזאיקה, הנפוצה בכל סוגי הצילום, נדרשת חפיפה מדויקת בין התמונות (60%-80%), כך שיתחברו זו לזו ותיווצר התאמה ביניהן, וניתן לבצעה בעזרת תוכנה מיוחדת או באתר אינטרנט, הדורש תשלום, בתהליך הנמשך לרוב כמה שעות.

א. צילום רגיל

כיום ישנן מספר שיטות לצילום רגיל, כלהלן:

- א. צילום כל החלקה באמצעות עשרות ואף מאות תמונות מגובה של עשרות מטרים, לרוב במסלול מוגדר מראש ובצורה אוטומטית. כל התמונות המצולמות יחוברו לתמונת מוזאיקה אחת.
- ב. צילום אזורי עניין בחלקה לפי מסלול שהוגדר מראש או על בסיס ניתוח דימוי לווין, לרוב בגובה נמוך של מטרים אחדים מעל הגידול.
- ג. צילום מכמה זוויות ליצירת מודל תלת-ממדי (ראה תמונה 1).
- ד. מספר צילומים בודדים המכילים את מרבית שטח החלקה (ראה תמונה 2).

כיום שימוש בתחום הנראה הוא הנפוץ ביותר, הודות לעלות הרחפנים, לנוחות השימוש ברחפן ובתוצריו ולרזולוציה המרחבית הגבוהה.

עלות רחפן עם מצלמה רגילה מסתכמת בכמה אלפי שקלים, כשרוב המצלמות בעלות 12-MP 48 זמן טיסה של עד 40 דקות. חלק מהרחפנים הללו מצוידים בחיישני קרבה למניעת התנגשות בעצמים.

באמצעות הצילום ניתן לזהות שונות בחלקה, העשויה לנבוע מבעיות עשבייה, השקיה, מחלות וגורמים נוספים.

כיום ישנם אלגוריתמים שונים שניתן 'להריץ' על המוזאיקה, וביכולתם לנתח את המידע המתקבל ולסמן אזורים בעייתיים, לספור צמחים (תמונה 3), ליצור מפת גובה ועוד.



תמונה 1. צילום תלת-ממדי של חלקת תמרים (באדיבות יואב עדתו)



תמונה 2. מבט כללי על החלקה (באדיבות ניר טרבלסי)



תמונה 3. צילום רחפן של שדה אבטיחים לפני מיפוי - מספור האבטיחים וגודלם (מימין) והאבטיחים לאחר מיפוי (משמאל) (באדיבות דוד בר)



תמונה 4. רחפנים לצילום רגיל - DJI mavic mini 3 pro, Phantom 4 (מתוך אתר DJI)

ב. צילום מולטי ספקטראלי

צילום זה מבוסס על מצלמה בעלת 3-6 תדרים, כאשר בדרך כלל אחד מהם נמצא בתחום האינפרא אדום הקרוב, שנקרא גם NIR, תחום אשר לא נראה בעין האנושית. בעזרת שימוש בתדרים השונים ניתן לקבל מדדי צימוח, שהמוכר בהם הוא NDVI (Normalized difference vegetation index), הנמצא בשימוש נרחב באמצעות לוויינים. מדד NDVI נחשב כלי אמין להערכת רמת הצימוח בחלקה ורמת הכלורופיל.

היתרון המרכזי בשימוש במדדי צימוח שונים מרחפן הוא גודל הפיקסל. בלוויין הפיקסלים הם לרוב 10-3 מטרים, המקנים הבנה חלקית של עוצמת הצימוח בשטח ואינם נותנים מענה מספיק טוב להבנת סיבת השונות, והם אף פחות נפוצים במטעים ובחלקות קטנות, אולם השימוש ברחפן עשוי לאפשר הבנה טובה יותר של מצב כל צמח וצמח ולהשוות ביניהם באופן אובייקטיבי.

עלות רחפן עם מצלמה מולטי-ספקטראלית היא אלפי ש"ח עד עשרות אלפי ש"ח. בחלק מהרחפנים מותקנת מראש מצלמה, ובחלק מהם ניתן להתקינה בשלב מאוחר יותר. כמות הפיקסלים היא בערך 2-4MP לכל תדר, בהשוואה ל-12-48MP במצלמה רגילה.

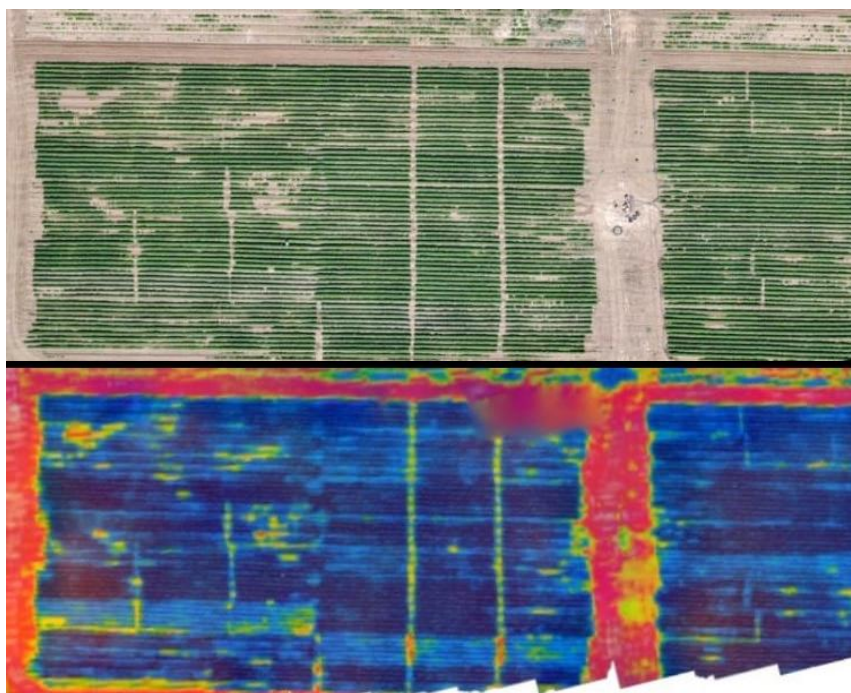


תמונה 5. רחפן עם מצלמה מולטי-ספקטראלית מובנית ומצלמה מולטי-ספקטראלית וחיישן אור (מתוך אתר DJI ואתר micasense)

ג. צילום תרמי

מתבסס על צילום בערוץ האינפרא אדום שאינו נראה בעין רגילה. בעזרת הצילום ניתן לזהות הבדלים בטמפרטורות. השימוש העיקרי בצילום התרמי הוא לשם זיהוי תקלות בהשקיה (תמונה 6). ביחס לצילום הרגיל ובתחום האינפרא אדום הקרוב - NIR, הרזולוציה המרחבית של הצילום התרמי נמוכה יותר. בנוסף לכך, המצלמות התרמיות הזולות חסרות דיוק רדיומטרי, וכתוצאה מכך ההבדלים בתמונה אינם ניתנים תמיד לייחוס לאנומליות אמיתיות בשטח.

עלות רחפן עם מצלמה רגילה ותרמית פשוטה מסתכמת בכעשרות אלפי ש"ח. לעומת זאת, במחקרים חקלאיים משתמשים במצלמות מקצועיות, שמחירן גבוה מ-80,000 ש"ח, וברחפנים איכותיים יותר שעלותם 30,000 ש"ח.



תמונה 6. חלקת שומשום בצילום רגיל ובצילום תרמי, המדגיש את הבדלי הטמפרטורות בתוך החלקה; הצבע האדום מציין טמפרטורה גבוהה, והכחול - טמפרטורה נמוכה (באדיבות אבישי וזה)



תמונה 7. רחפן עם מצלמה רגילה ותרמית מובנית (מתוך אתר DJI)

טבלה לסיכום ההבדלים בין הרחפנים

Thermal	מולטי ספקטרוני NDVI	רגיל / RGB	
נמוך	בינוני	גבוה	גודל הפיקסל (איכות)
+ 15,000	+ 10,000	+ 2,000	מחיר הרחפן
גבוה	בינוני	בינוני	זיהוי תקלות השקיה
נמוך	גבוה	גבוה	זיהוי כתמי עשבייה
לא מתאים	לא מתאים	מתאים	זיהוי מחלות ומזיקים
לא מתאים	לא מתאים	מתאים	ספירת עומד צמחים/ירקות
לא מתאים	לא מתאים	מתאים	מידול תלת-ממדי 3D
מעט	הרבה	מעט	צורך בעיבוד מתקדם
בינונית	נמוכה, נדרש עיבוד	גבוהה	הבנה מידית של הצילום

לסיכום, השימוש ברחפנים נמצא כיום במגמת התפתחות והתקדמות, וכבר עתה ניתן להשתמש באלגוריתמים לזיהוי מזיקים ומחלות בעזרת הרחפנים.

אני מאמין שהשימוש ברחפנים ילך ויתרחב בחקלאות, הן על ידי נותני השירות והן על ידי החקלאים, שיבצעו עיבוד בעצמם ויפענחו את התוצאות באמצעות שירותים שונים, שיהוו בסיס להחלטות בדבר השקיה, ריסוס ופעולות נוספות.

האמור לעיל הינו בגדר עצה מקצועית בלבד ואינו מהווה חוות דעת מומחה לצורך הצגה כראיה בהליך משפטי. על מקבל העצה לנהוג מנהג זהירות, ושימוש או הסתמכות על המידע המופיע לעיל הינו באחריות מקבל העצה בלבד.

אין להעתיק, להפיץ או להשתמש במסמך זה או בחלקים ממנו לצורך הליך משפטי כלשהו, ללא אישור מראש ובכתב של החתומים.

הראל גרינבלט

מדריך מיכון וטכנולוגיה, שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות

harelg@shaham.moag.gov.il

