

המחלקה לחקר עשבים
מרכז מחקר נווה יער
מנהל המחקר החקלאי

פיתוח גישות מתקדמות מבוססות תמונה לזיהוי מוקדם של עלקת חמנית תוצאות ניסויי שדה משנת 2022

**מומן בעזרת הנהלת ענף הפלחה
מאת: רן לאטי, חנן איזנברג וגיא עצמון**

דו"ח זה מכיל תוצאות ניסויים בלבד ואיננו מהווה המלצה לשימוש חקלאי

מרץ 2023

תקציר

העלקת הינה עשב טפיל שורש המוביל לפחיתת יבול בחמנית ובגידולי מפתח נוספים המתפרשים על שטחים נרחבים בכל הארץ. קוטלי עשבים (אימזאפיק בחמנית) הינם האמצעי המרכזי להתמודדות עם בעיה זו אולם, ממשקי ההדברה הקיימים כיום מתעלמים לחלוטין מהשוונות המרחבית הקיימת בשדות וחומרי ההדברה מיושמים בצורה הומוגנית על כל השדה. ניתן להניח כי נעשה שימוש מיותר בכמות רבה של קוטלי עשבים ביישום באזורים בהם לא קיימת עלקת. במקרים מסוימים קוטל העשבים פוגע בהתפתחות הפונדקאי (צמחי החמנית) ולכן ישנה חשיבות להימנע מיישום כאשר ניתן. יתרה מכך, בשל הנזק האפשרי הנגרם מיישום האימזאפיק מנמעים לעיתים המגדלים מיישום תכשיר זה ובך הם נחשפים לפחיתת יבול משמעותית מהעלקת והפסדים כספיים. בכדי לאפשר יישום קוטלי עשבים באזורים נגועים בלבד דרוש מידע מרחבי על מיקומם המדויק של צמחי העלקת. יישום מדויק שכזה יאפשר לצמצם במידה ניכרת את כמויות קוטלי העשבים בהם נעשה שימוש ואת ההשלכות הסביבתיות השליליות הנלוות להם תוך שמירה על רמות הדברה נאותות. הנחת המחקר הבסיסית היא כי הטפילות בעלקת חמנית יוצרת עקה על צמח החמנית אשר ניתן לזהות בשלבים מוקדמים באמצעות מידע ספקטרלי. לפיכך, מטרות המחקר העיקריות הן: 1. אפיון השינויים הספקטראליים והמרחביים של צמחי חמנית הטפולים בעלקת ובחינת התרומה של כל אחת מגישות האפיון לזיהוי מוקדם של הטפילות, ו-2. פיתוח מודל לימוד מכונה המתבסס על תמונות מולטי ספקטרליות הנרכשות מרחפן לזיהוי מוקדם של טפילות עלקת חמנית והערכתו בחלקות מסחריות. לצורך השגת מטרות אלו נערך ניסוי בחוות גד"ש בו נעשה שימוש ב- 88 גנוטיפים שונים של חמנית בעלות רגישות משתנה לעלקת חמנית. הניסוי כלל 16 צמחים מכל גנוטיפ בכל טיפול, סך הכל כ- 2800 צמחים. מחצית מהצמחים הודבקו בעלקת, כאשר החלקה צולמה באמצעות מצלמה מולטי-ספקטרלית בארבעה מועדים. ניתוח ספקטרלי של הצחים הנגועים הראה בצורה ברורה שוני מובהק בערכי אינדקסים צמחים שונים (לדוגמא- NDVI) במועדים בהם תהליך הטפילות מתקדם. בנוסף, ניתן היה לראות כי בקווים בעלי רמת רגישות גבוה לעלקת הבדלים ספקטראליים אלו היו גבוהים יותר ואף נצפו במועדים מוקדמים יותר. תוצאות אלו מדגימות את פוטנציאל השימוש במצלמות מולטי-ספקטרליות לזיהוי מוקדם של עלקת חמנית.

מילות מפתח

עלקת חמנית, חישה מרחוק, צילום מולטי-ספקטרלי, רחפן

סקר ספרות

העלקות (*Orobancha coccand Phelipanche* spp.) הינן ממשפחת עשבים טפילי שורש מוחלטים וחסרי כלורופיל המורכבת מיותר מ-200 מינים, הנטפלים למספר רב של גידולי שדה וירקות כמו עגבניות לתעשייה, גזר, תפוחי אדמה, חמנית וכרוב (Eizenberg et al. 2012). שלבי הצימוח העיקריים של עשבים אלו כוללים תרדמה, נביטה, הצמדות לשורשי הפונדקאי, התחברות למערכות ההובלה והתפתחות פקעית על גבי מערכת השורשים. מרגע היצמדותו לשורשי הפונדקאי עשב זה שואב ממנו מים, מינרלים וסוכרים ויכול לגרום לפגיעות קשות בהתפתחות הגידול ובכמות ואיכות היבול המתקבל. מכיוון שרוב שלבי ההתפתחות של העלקת מתרחשים מתחת לפני הקרקע, בזמן הופעת התפרחות הנזק לגידול נגרם ולא ניתן למנוע את פחיתת היבול. מסיבות אלו הדברת עלקת נחשבת כקשה במיוחד בגידולים רבים, כאשר ברמות מדבק קשות ננטשים שטחי גידול וקיימת סכנה לעתיד אותו ענף באזור.

קוטלי עשבים כימיים הינם האמצעי היעיל ביותר להדברת עלקת, אולם יישום מוצלח דורש תזמון מדויק המתבסס על מודלים החוזים את שלבי הצימוח של העלקת ומצב הטפילות שלהם. על היישום להתבצע בפרק זמן מוגבל בו העלקת נבטה והתחברה למערכת השורשים של הפונדקאי, אך היא עדיין רגישה ותודבר בעילות. ביחידה לחקר עשבים בנוה יער פותחו בשנים האחרונות מודלים לחיזוי נביטה והתפתחות של עלקת המבוססים על ימי מעלה (GDD), עבור מגוון רחב של גידולים הרגישים לעלקת. עם זאת, ממשקי ההדברה הקיימים כיום מתעלמים לחלוטין מהשונות המרחבית הקיימת בשדות וחומרי ההדברה מיושמים בצורה הומוגנית על כל השדה. ניתן להניח כי נעשה שימוש מיותר בכמות רבה של קוטלי עשבים ביישום באזורים בהם לא קיימת עלקת. יתרה מכך, במקרים מסוימים קוטל העשבים פוגע בהתפתחות הפונדקאי (הגידול התרבותי) ולכן ישנה חשיבות להימנע מיישום כאשר ניתן. בכדי לאפשר יישום קוטלי עשבים באזורים נגועים בלבד דרוש מידע מרחבי על מיקומם המדויק של צמחי העלקת. יישום מדויק שכזה יאפשר לצמצם במידה ניכרת את כמויות קוטלי העשבים בהם נעשה שימוש ואת ההשלכות הסביבתיות השליליות הנלוות להם תוך שמירה על רמות הדברה נאותות. הדברת עשבים מדייקת (Site Specific Weed Management) הינה אחת הגישות הננקטות במטרה לצמצם את כמויות קוטלי העשבים המיושמים (Lati et al. 2021). גישה זו מתבססת על רכישת מידע תמונתי באמצעות חיישנים שונים (RGB, היפרמולטי ספקטראלי) המזהים את מיקום העשבים במרחב השדה ומפרידים אותם מגידול התרבות כבסיס ליישום מדויק. עם זאת, עבור עלקת משימה זו מאתגרת במיוחד מכיוון שרוב שלבי הצימוח של עשב זה מתרחשים מתחת לאדמה ולכן גישות הזיהוי המקובלות אינן יעילות. גישה חלופית לזיהוי מוקדם של עלקת, בטרם מופיעות התפרחות מעל פני הקרקע, הניחה כי תהליך הטפילות מלווה בעקה לצמח התרבות אשר תשפיע על התפתחותו המורפולוגית התקינה ועל אופי ההחזר הספקטראלי שלו, כאשר ניתן יהיה לרתום שינויים אלו לזיהוי הטפילות בשלביה הראשונים. במחקר מקדים שנערך נעשה שימוש במידע היפר-ספקטראלי שנרכש מטווח קרוב ומודלים של לימוד מכונה לזיהוי מוקדם של טפילות בעלקת בתנאי שדה מלאים. במחקר זה התבצעה רכישת המידע מקרוב באמצעות מצלמה היפרספקטראלית בעלת 206 ערוצים ברזולוציה גבוהה, ונעשה שימוש גם במידע מרחבי (עלה צעיר מול בוגר). מחקר זה הצליח להגיע לרמות זיהוי של 88% בין צמחי חמנית טפולים בעלקת ולצמחי ביקורת, גם כן במועדים מוקדמים בהם יישום קוטלי עשבים אפשרי. בנוסף, רמות הדיוק הגבוהות נשמרו גם כאשר המידע הספקטראלי צומצם לעשרה אורכי גל בלבד, המייצגים מצלמות מולטי-ספקטראליות מסחריות בהן נעשה כיום שימוש. עם זאת, טרם

נבחנה יעילות הגישה הספקטרלית כאשר המידע נרכש מגובה רב במטרה להגדיל הספקים (Atsmon et al. 2022).

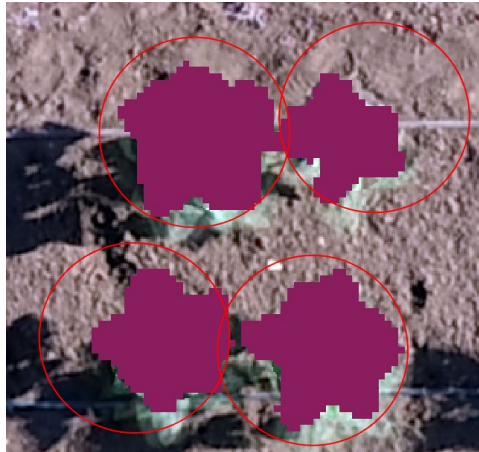
שיטות

נערך ניסוי בחוות גד"ש לסריקת אוסף גנטי המכיל 88 גנוטיפים שונים של חמנית, לרגישות/עמידות לטפילות עלקת חמנית. הניסוי כלל 16 צמחים מכל גנוטיפ בכל טיפול, סך הכל כ- 2800 צמחים. לחורי השתילה בבלוקים של הטיפול הוספו זרעי עלקת חמנית מעורבבים עם אדמה בריכוז של 30ppm, שאר הצמחים שימשו כביקורת ללא אילוח. במהלך עונת הגידול החלקה צולמה באמצעות רחפן נושא חיישן מולטיספקטראלי (Micasense Rededge MX) בעל חמישה ערוצים מטווח ה VisNIR (400-1000nm) בארבעה מועדי צילום עם רווחים של שבוע בין מועד למועד (איור 1). כל מועדי הצילום התרחשו בשלב טפילות תת קרקעי, לפני הצצה של תפרחות העלקת מעל פני הקרקע. בסוף העונה נספרו מספר תפרחות העלקת בכל הצמחים.



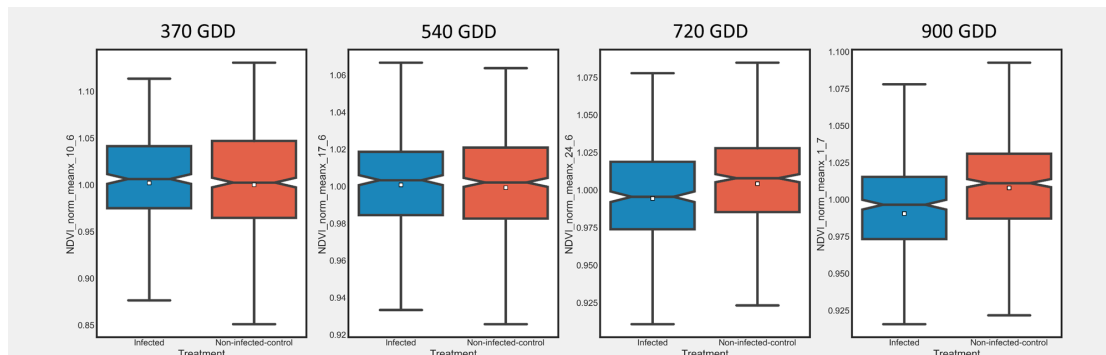
איור 1. חלקת הניסוי מיוצגת בצילום RGB (ימין) ובשכבת NDVI (שמאל).

ניתוח נתונים: מוזאיקות של ארבעת מועדי הצילום הועלו לתכנת ArcGISpro. פוליגונים סומנו לכל הצמחים כך שיכללו פיקסלים אשר כוללים את עלוות החמנית בלבד (ללא קרקע) ותויגו לפי שם הגנוטיפ ומספר העלקות שהיו על הצמח בסוף הניסוי. מתוך כל פוליגון חולצו הערכים הספקטראליים של כל חמשת הערוצים. מתוך ערכים אלו חושבו שנים עשר אינדקסים ספקטראליים ובוצעה השוואה של ערכי האינדקס בצמחים עם וללא טפילות של עלקת. לאחר מכן חולקו הצמחים בהתאם לרמת הנגיעות הסופית שלהם, קרי מספר העלקות שנטפלו לצמח בתום הניסוי. רמה ראשונה הייתה של ניגעות נמוכה, הינם צמחים עם פחות מארבע עלקות לצמח. רמה שניה של ניגעות גבוהה, עם מעל ארבע עלקות לצמח. עבור כל קבוצה חושב ערכי האינדקסים השונים כאחוז מביקורת (100%).



איור 2. דיגום פוליגונים

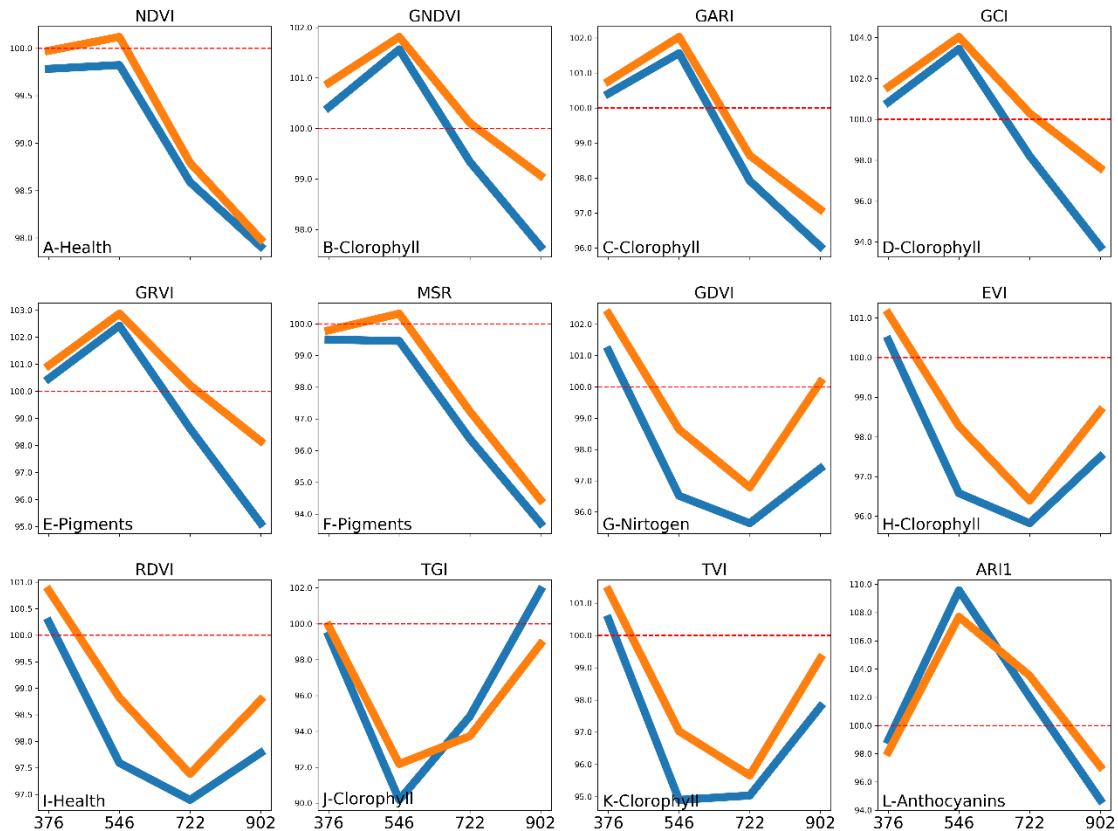
תוצאות: הגנוטיפים השונים התפלגו מבחינת התגובה הספקטרלית של הצמחים הטפולים לעומת אלו ללא טפילות ומבחינת מועד התגובה (לא מוצג כאן). לאחר נרמול ערכי האינדקסים של כל הגנוטיפים ניתן להשוות בין הערכים של כל הצמחים בחלקת הטיפול (עם טפילות) לעומת חלקת הביקורת (ללא טפילות). כאשר מסתכלים לדוגמה על אינדקס NDVI (Normalized difference vegetation index) ניתן לראות כי במועד הצילום השלישי והרביעי (720 ו- 900 ימי מעלה בהתאמה) התקבלו ערכי NDVI נמוכים יותר בצמחים עם טפילות של עלקת (כחול) לעומת צמחים ללא טפילות (אדום). NDVI הינו אינדקס המעיד על בריאות כללית של הצמח ומקושר בין השאר גם לתכולת כלורופיל (איור 3).



איור 3. ערכי NDVI של צמחי חמנית עם טפילות עלקת (כחול) לעומת צמחים ללא טפילות (אדום) בארבעת מועדי הצילום.

איור 4 מציג את ערכי ההחזר של האינדקסים הצמחיים השונים אשר חושבו כאחוז מביקורת עבור צמחים עם נגיעות נמוכה וגבוהה. ירידה של העקומות ביחס לקו זה מעידה על שוני בהחזר בערכי האינדקס של צמחים נגועים בעלקת ויכולת זיהוי של הנגיעות באמצעים ספקטראליים. כפי שניתן לראות אופי השינוי בערכי האינדקסים במהלך הניסוי אינו דומה. ישנם אינדקסים כמו NDVI, GCI, GARI, GNDVI ועוד, אשר החל ממועד הדיגום השני (546 GDD) יורדים בצורה עקבית ביחס לביקורת. תגובה זו הינה מצופה ומבטאת עליה ברמת העקה הנגרמת לצמח עם ההתקדמות בתהליך הטפילות של העלקת. באינדקסים אחרים (GDVI לדוגמה) ישנה עליה בעוצמת ההחזר במועד הדיגום האחרון (902 GDD) אשר מבטאת התאוששות במצבו הפיסיולוגי של הצמח אותה

לא ניתן להסביר. בנוסף, ניתן לראות כי ישנם אינדקסים (NDVI ו-MSR לדוגמה) אשר לא רגישים להבדלים בין רמות האילוח הגבוהה והנמוכה, אשר מתבטא בעקומות הצמודות זו לזו. לעומתם, GCI ו-GRVI בהם ההבדלים בין העקומות הולכות וגדלות לאורך הניסוי, מגמה המרמזת על רגישות גבוהה לרמות מדבק שונות.



איור 4. עוצמת ההחזר הספקטראלי (אחוז מביקורת) של אינדקסים צמחיים שונים מצמחי חמנית בעלי רמת אילוח גבוהה (כחול) ונמוכה (כתום). הקו האדום (100%) הינו ערך האינדקס בביקורת ללא העלקות.

מסקנות ותכניות להמשך: תוצאות ראשוניות אלו מראות כי ניתן לזהות שינוי בערכים של אינדקסים ספקטראליים מצמחים טפולים לעומת צמחים ללא טפילות, כבר בשלב מוקדם של טפילות. ישנם מספר אינדקסים בהם ניתן להשתמש למטרה זו. ישנם אינדקסים עם רגישות גבוהה יותר לטפילות אשר עם ההתקדמות בתהליך הטפילות ההבדל בין צמחים נגועים לביקורת הולך וגובר. בנוסף, ישנם אינדקסים הרגישים לרמות מדבק משתנות, אשר באות לידי ביטוי בערכים גבוהים עם העלייה ברמת המדבק בהשוואה לצמחים עם נגיעות נמוכה. ניתן ליישם את גישת הזיהוי המוקדם בשדות מסחריים בתנאי שדה מלאים ומצלמות מולטי-ספקטראליות הזמינות כיום מסחרית הינן כלי מתאים לביצוע המשימה.

תכנית לחודשים הקרובים:

1. סריקת מגמות השינוי בכלל האינדקסים וחיפוש אחר מגמות שינוי אופייניות לצמחים עם רמת טפילות גבוהה מול נמוכה.

2. ביצוע ניסוי דומה באביב הקרוב (2023) על מנת לחזור על הניסוי בשנה נוספת ובמיקום נוסף.
3. באמצעות צילום ממצלמה היפר-ספקטרלית קרקעית ברזולוציה ספקטרלית גבוהה אנו מתכוונים לחלץ את האזורים הספקטראליים המשמעותיים ביותר לזיהוי הטפילות ובהמשך לפתח חיישן מולטי-ספקטראלי ייעודי אשר לו פוטנציאל גבוה להיות ספציפי וחסין יותר למטרה זו לעומת חיישנים קיימים.
4. מידע אשר יתקבל מהסעיפים לעיל יסייע לפתח מתודולוגיות לזיהוי מוקדם של טפילות עלקת חמנית בחמנית באמצעים של חישה מרחוק.

ציטוטים

- Atsmon G, Nehurai O, Kizel F, Eizenberg H, Nisim Lati R (2022) Hyperspectral imaging facilitates early detection of *Orobanche cumana* below-ground parasitism on sunflower under field conditions. *Comput Electron Agric* 196: 106881
- Eizenberg H, Aly R, Cohen Y (2012) Technologies for Smart Chemical Control of Broomrape (*Orobanche* spp. and *Phelipanche* spp.). *Weed Sci* 60: 316–323
- Lati RN, Rasmussen J, Andujar D, Dorado J, Berge TW, Wellhausen C, Pflanz M, Nordmeyer H, Schirrmann M, Eizenberg H, Neve P, Jørgensen RN, Christensen S (2021) Site-specific weed management—constraints and opportunities for the weed research community: Insights from a workshop. *Weed Res* 61: 147–153