

איפיונים פנולוגיים בשדות גד"ש שיקמה באמצעות לווין "ונוס"

אסף יופיטר ואנונו*, נטליה פנוב*, יניב בונשטיין**, ארנון קרניאלי*

* המעבדה לחישה מרחוק, המכונים לחקר המדבר, קמפוס שדה בוקר, אוניברסיטת בן גוריון

** גד"ש שיקמה, משמר הנגב.

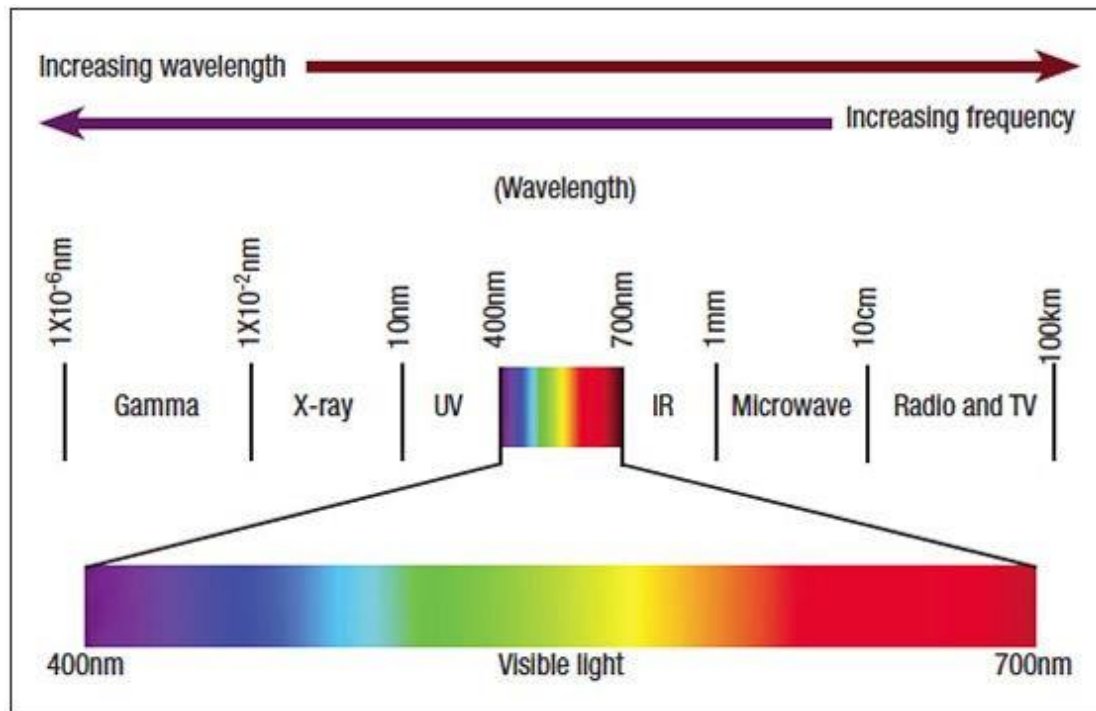
תקציר

תחום החישה מרחוק מאפשר רכישת מידע על אובייקטים בכדור הארץ באמצעות קליטת קרינה אלקטרומגנטית מוחזרת או נפלטת בתחומים ספקטראליים שונים באמצעות לויני תצפית. בחקלאות ניתן להשתמש בתמונות לווין על מנת ללמוד על בריאות צומח ואפיון מחזורי גידולים שונים על מנת לחסוך במשאבים, להגדיל יבולים ורווחים, ולשמור על איכות הסביבה. לווין המחקר ישראלי-צרפתי ונוס (VEN μ S) שוגר באוגוסט 2017 במטרה לספק סדרות זמן תכופות של מאפייני צומח לשימושי חקלאות מדייקת ברזולוציות גבוהות וזווית צילום קבועה.

במחקר זה נעשה שימוש בסדרת זמן של ונוס לאורך שלוש שנים, בשלוש חוות של גד"ש שקמה (בית קמה, משמר הנגב, ומיגדה), על מנת לאפיין מחזורים פנולוגיים של גידולים שונים, והערכת בריאות ויבולים לאורך התקופה. הממצאים מראים כי ניתן לסווג קבוצות גידולים שונים, לזהות שונות בתוך אותו הגידול הנובעת מעקה מים (כמו בצורת) או חומרי הדברה. מסקנתנו היא שחקלאות מדייקת משולבת ארכיוני חישה מרחוק מאפשרים לזהות אנומליות ודפוסים שונים בחלקות גידול, וכך לקבל החלטות בזמן אמת המייעלות את ניהול המשק החקלאי.

הקדמה

חישה מרחוק הינו תחום המאפשר רכישת מידע על אובייקטים או תופעות מבלי ליצור עמם מגע פיזי. חישה מרחוק שימושית לתחומים רבים כגון חקלאות, מיפוי, הידרולוגיה, אקולוגיה, מטאורולוגיה, ועוד. חישה מרחוק מתבצעת בעיקר באמצעות לויינים או כלי טיס בעלי חיישנים שונים, המאפשרים הבחנה וסיווג אובייקטים על פני כדור הארץ באמצעות קליטת קרינה אלקטרומגנטית מוחזרת או הנפלטת. הקרינה האלקטרומגנטית נעה בצורת גלים בחלל ודרך האטמוספירה של כדור הארץ בתחומים ספקטראליים שונים (איור 1). קרינה בתחום הנראה לעין האנושית תופסת חלק קטן מהספקטרום האלקטרומגנטי וחיישני צילום מאפשרים להבחין בתחומי הקרינה מעבר לתחום הנראה בהם קיים מידע רב המשמש ליישומים שונים.



איור 1 – הספקטרום האלקטרומגנטי

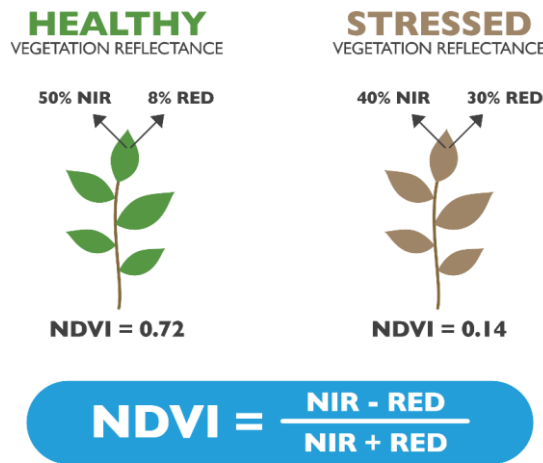
כל הגופים בכדור הארץ מחזירים, בולעים, ומעבירים אנרגיה המשתנה לפי אורך הגל. לכל עצם יש טביעה ספקטרלית ייחודית, כמעין "טביעת אצבע" המאפשרת לזהות חומרים שונים כמו סוגי צומח וקרקות, ולאפיין את מצבם. לדוגמה - עקה בגידולים, תכולת כלורופיל, תכולת רטיבות, וכד'. בחקלאות ניתן להשתמש בחישה מרחוק על מנת להתמודד עם אתגרים באמצעות הספקת מידע שוטף ומתעדכן על מצב יבולים לאורך עונת הגידול במספר משתנים שונים.

במחקר זה, נעשה שימוש בלוויין הישראלי-צרפתי בשם "וונוס" על מנת להשיג תמונות מולטי-ספקטרליות ברזולוציה מרחבית ותדירות גבוהים מעל מרבית האזורים החקלאיים של ישראל. תמונות הלוויין מספקות מידע רב אודות בריאות צומח ומחזורים פנולוגיים של יבולים בשדות גד"ש שקמה. המטרה הכללית היא לבחון אלגוריתמים חדשים בחקלאות מדייקת מתקדמת. מנקודת מבט כלכלית וסביבתית, עקרון חקלאות מדייקת יכול לסייע לחקלאים לחסוך בתשומות הגידולים, להגדיל רווחים, וגם לשמור על משאבים ואיכות הסביבה - קרקע ומי תהום.

אינדקסים של צמחיה - NDVI

אינדקס ההפרשים המנורמלים, NDVI, הינו מדד ספקטרלי בו משתמשים בחישה מרחוק לגילוי פעילות פוטוסינתזה והערכת בריאות הצומח. ערוצי האינפרה-אדום קרוב (NIR) והאדום (red) משמשים לחישוב האינדקס, כאשר ערכי אינדקס גבוהים מעידים על צמחיה בריאה וצפופה, וערכים נמוכים על צומח הנמצא בעקה או צמחיה דלילה (איור 2). ה-NDVI מבוסס על כך שצמחיה מחזירה הרבה קרינה בתחום האינפרה אדום קרוב, ובולעת קרינה בתחום האדום. כאשר הצמח נמצא בעקה, ערכי האינפרה-אדום פוחתים וערכי האדום עולים וכך ערכי אינדקס קטנים. ניתן להשתמש ב-NDVI כדי לאפיין מחזורים פנולוגיים של גידולים, להבחין בין סוגי גידולים

שונים, לזהות עקה מוקדמת, אפיון בריאות יבול, ועוד. במחקר זה, אינדקס ה-NDVI נבחר על מנת לאפיין מחזורים פנולוגיים של יבולים בגד"ש שקמה בנגב הצפוני.



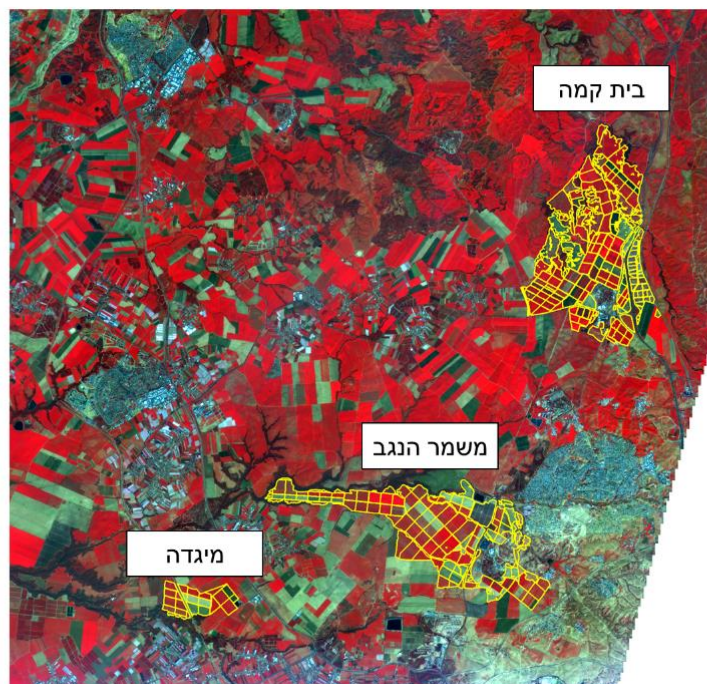
איור 2 – אינדקס NDVI

משימת הלוויין וונוס (VENμS)

לוויין וונוס (Vegetation and Environment monitoring New Micro-Satellite) שוגר ב-1 לאוגוסט 2017 והינו תוצר שילוב פעולה של סוכנות החלל הישראלית (ISA) והמרכז הצרפתי לאומי לחקר החלל (CNES). המטרה המדעית העיקרית של הלוויין הינה לספק סדרות זמן תכופות של מאפייני צומח בעיקר לשימושי החקלאות המדייקת. להגשמת מטרה זו, מערכת הצילום של הלוויין מאופיינת ברזולוציה (כושר הפרדה) מרחבית גבוהה של 5 מטר לפיקסל, רזולוציה ספקטרלית של 12 ערוצים בתחומי הנראה והאינפרא-אדום, וזמן חזרה גבוה של פעם ביומיים בזווית צילום קבועה. תמונות וונוס עדכניות ולאחר תיקונים שונים, מוכנות לשימוש יומיים לאחר צילום התמונה. מידע מהלוויין זמין מנובמבר 2017, בחינם למטרות מדעיות. שילוב של התכונות הייחודיות של הלוויין הינן כלי יעיל לחקלאות מדייקת במספר רב של שימושים חקלאיים כגון ניטור חומרי הזנה, הערכת עקה בצמח, ניבוי תוצרת חקלאית, זיהוי עשבים מזיקים, הערכת תכונות קרקע, ועוד. מלבד שימושים אלו, וונוס הוא כלי שימושי לחקר פנולוגיית גידולים הכוללת הצצה, השתבלות, כמישה, ותרדמת.

אזור המחקר

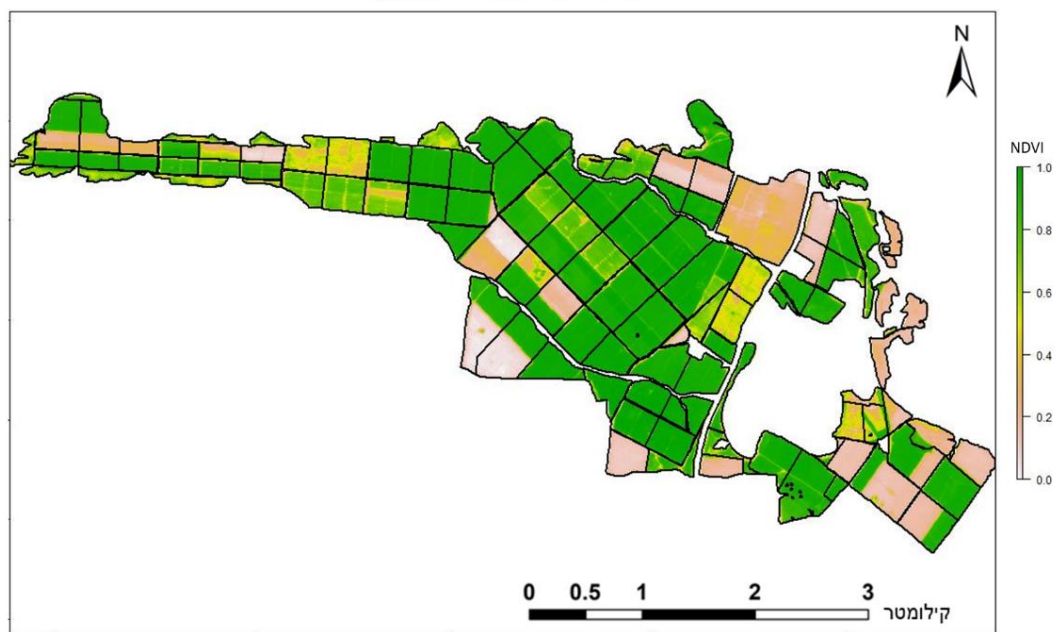
נעשה שימוש ברצף סדרת זמן ה-NDVI של וונוס לאורך שלוש שנים בשלוש חוות של גד"ש שיקמה הממוקמות בצפון מערב הנגב (איור 3): בית קמה (16 קמ"ר), משמר הנגב (13.9 קמ"ר), ומיגדה (2.2 קמ"ר). האקלים בצפון הנגב הינו צחיח למחצה עם ממוצע גשם שנתי של בערך 250 מ"מ. יש לציין כי הגשם מאופיין בשונות גבוהה במרחב, בתדירות, בהתפלגות לאורך העונה, ובתנודה בין שנתית. חלק מהשדות בחוות מבוססות מי גשמים (בעל) וחלק מחוברות למערכות השקיה (שלחין). גידולי החורף העיקריים בגד"ש כוללים חיטה, שעורה, תפוח אדמה, גזר, חימצה. גידולי קיץ כוללים אבטיח ופפריקה.



איור 3 – אזורי המחקר על רקע תמונת וונוס מתאריך 9/2/2018. צבע אדום מראה על גידולים פעילים, ירוק – קרקע חשופה, אפור – שטח בנוי.

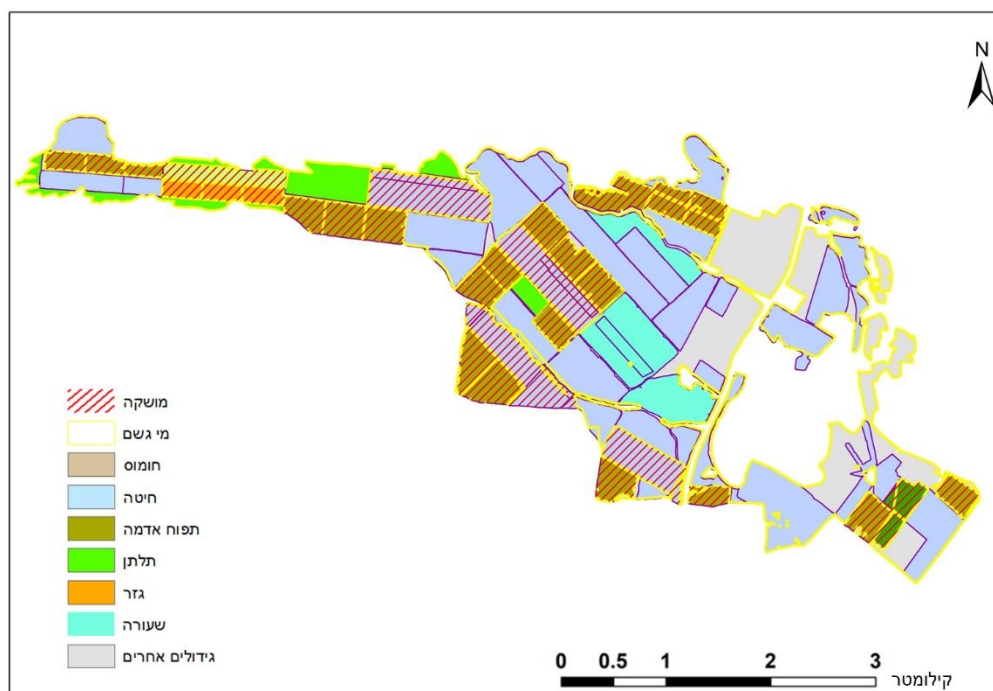
שיטות העבודה

זמן החזרה הגבוה של הונוס (אחת ביומיים), בשילוב רזולוציה מרחבית של 5 מטר יוצרים סדרת זמן ייחודית של מידע ספקטרלי במונחי NDVI. מידע אודות הגידולים סופקו על ידי גדיש שקמה וכוללים נתוני השקיה, שמות חלקות, סוג גידול בכל חלקה, תאריכי זריעה וקציר, ייעוד היבול, ועוד.



איור 4 – ערכי NDVI יומי במשמר הנגב בתאריך 8/3/2020

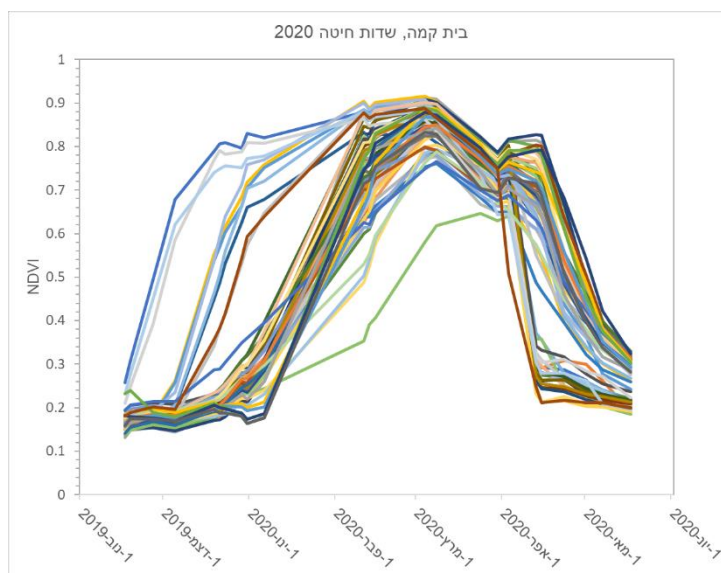
באיור 4 ניתן לראות ערך NDVI יומי בתאריך 8/3/2020 בשדות משמר הנגב. כל חלקה מוספרה וערכי ה-NDVI שלה נשמרו לאורך סדרת הזמן. כמו כן, מופו כל חלקות הגידול בשלושת החוות לפי סוג הגידול בכל עונה עם הבחנה בין שדות בעל לשלחין (איור 5).



איור 5 – מיפוי שדות משמר הנגב בחורף 2019-20 לפי סוג הגידול ושטחי השקייה.

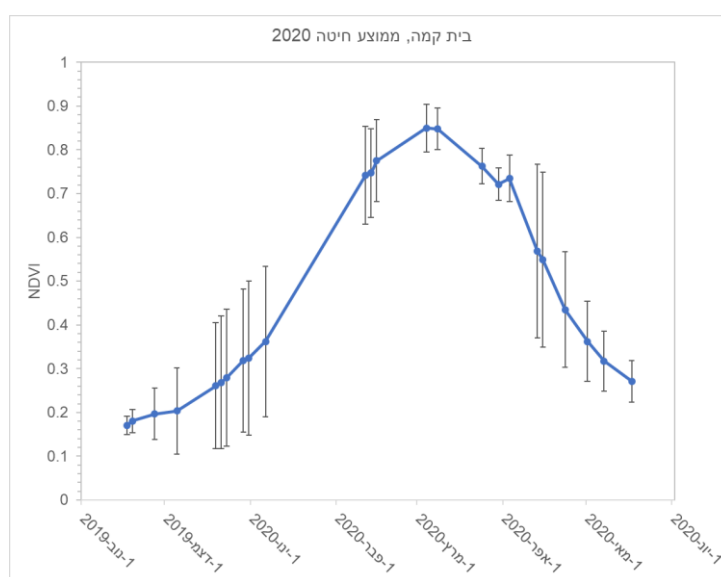
תוצאות

באיור 6 ניתן לראות סדרת זמן המכילה נתוני NDVI של יותר מ-60 שדות חיטה בבית קמה בעונה 2019-2020. בתקופות ההצצה והקציר ניתן לראות שונות גבוהה בין שדות החיטה, אך בתקופת שיא ההשתבלות (מרץ) קיימת שונות קטנה בערכי ה-NDVI בין השדות. בנוסף, בתקופת הקציר שדות החיטה נקצרים במועדים שונים כתלות בייעוד היבול (תחמיץ/שחת/גרעינים). נתוני ה-NDVI מאפשרים לאפיין פנולוגיה לכל גידול, וכך לזהות סוגי יבולים שונים בהתבסס על תמונות וונוס בלבד.



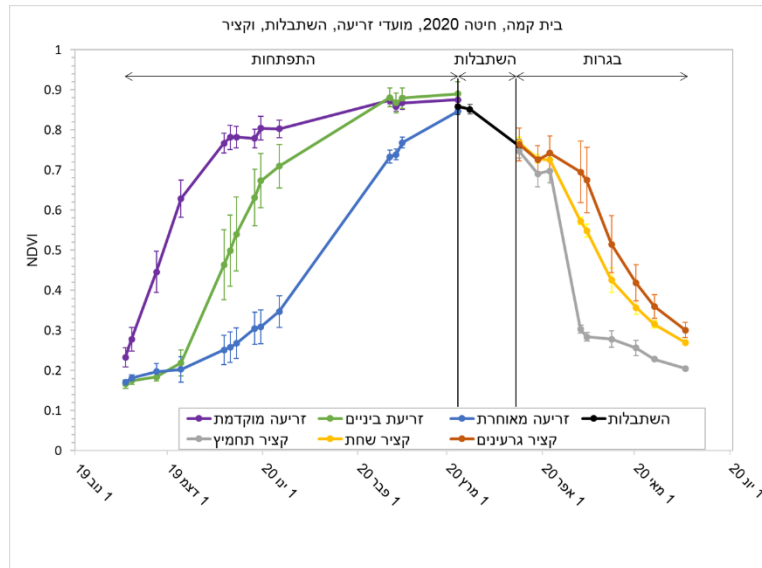
איור 6 – סדרת זמן NDVI לשדות חיטה בבית קמה בעונה 2019-2020.

איור 7 הינו הגרף הממוצע של ערכי ה-NDVI של כל שדות החיטה בבית קמה בעונה 2019-2020. הקווים האנכיים הם ערכי סטיות התקן מהממוצע שמראים סטטיסטית כי קיים טווח ערכים גדול בעיקר בתקופות ההצצה והקציר וטווח ערכים קטן בתקופת ההשתבלות.



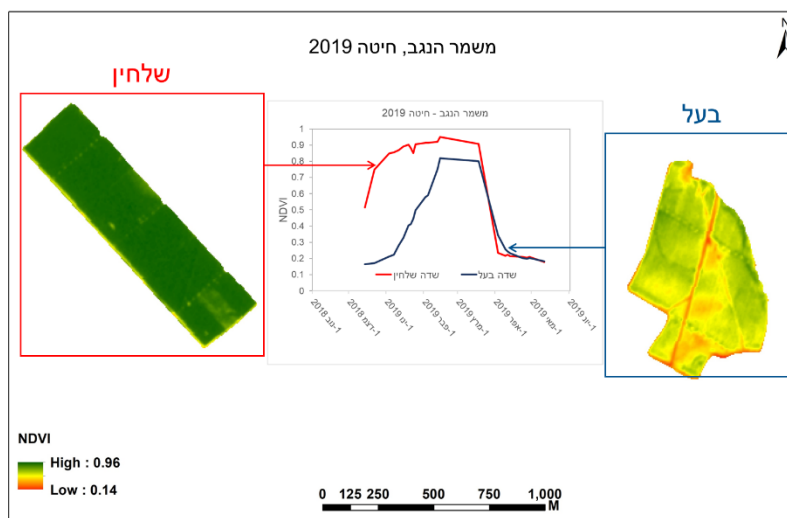
איור 7 – ממוצע וסטיות תקן של סדרת זמן NDVI לשדות חיטה בבית קמה בעונה 2019-2020.

איור 8 מציג חלוקה לקבוצות ואפיון פנולוגיה של שדות החיטה בבית קמה לעונה 2019-2020. השדות בעלי ערכי NDVI גבוהים בזמן ההצצה הינם שדות מושקים המיועדים בעיקר לשחת ותחמיץ, ואשר נקצרים מוקדם יותר מהחיטה המיועדת לגרעינים. רוב השדות, המיועדים לגרעינים, לא מושקים ונקצרים בשלב מאוחר יותר. בנוסף, ניתן לראות כי כל שדות החיטה מגיעים לשיא ההשתבלות בצורה אחידה וללא תלות בייעוד החיטה וכמות ההשקיה.



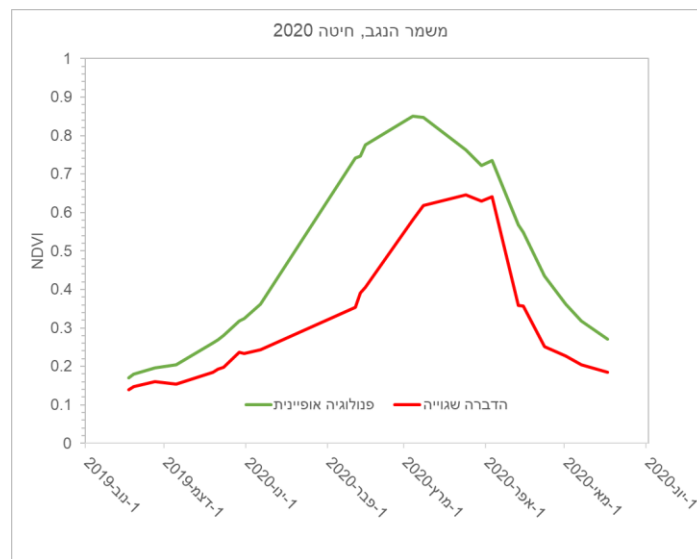
איור 8 – אפיון פנולוגיה של חיטה בבית קמה לפי NDVI בעונה 2019-2020.

איור 9 מציג השוואה בין ערכי NDVI של שדה חיטה מושקה המיועד לתחמיץ ושדה חיטה בעל סמוך המיועד לשחת, במשמר הנגב בעונה 2018-19. השדה המושקה נקצר ב- 19/3/2019 ושדה הבעל נקצר ב- 23-27/3/2019.



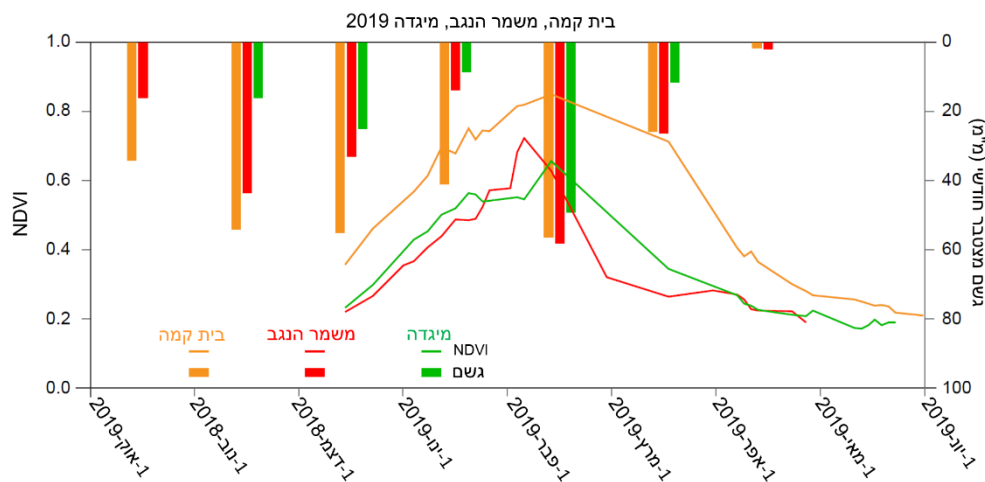
איור 9 – ערכי NDVI של שדה שלחין בהשוואה לשדה בעל במשמר הנגב בעונה 2018-19. בתמונות – NDVI של שדות שלחין ובעל סמוכים, מתאריך 4 בפברואר 2019.

אפיון פנולוגיה מאפשר לזהות הפרעות ביבולים שונים הנגרמות כתוצאה ממזיקים, התייבשות, מחסור בחומרי הזנה, נזקי הדברה, ועוד. באיור 10 ניתן לראות שדה חיטה שלא תואם פנולוגיה חיטה ממוצעת. אי ההתאמה נגרמה כתוצאה מהדברה שגויה אשר פגעה בבריאות שדה החיטה.



איור 10 – זיהוי הפרעה בפנולוגיית חיטה שנגרמה על ידי הדברה שגויה.

שילוב סדרת הזמן של וונס יחד עם ממוצע גשם חודשי בכל חווה מציג את השפעת כמות המשקעים על פנולוגיית היבולים. בית קמה, משמר הנגב, ומיגדה קרובים מרחבית (20 ק"מ בערך), אך בכל זאת ניתן לראות שונות בכמות המשקעים בעונה 2018-19. איור 11 מציג את חשיבות אפקט גשמי תחילת עונה על פנולוגיית החיטה בשדות הבעל של שלושת החוות. בבית קמה ירדה כמות גשם הגבוהה ביותר בחודשים נובמבר ודצמבר, פחות במשמר הנגב, וכמות הגשמים הנמוכה ביותר במיגדה (טבלה 1). ערכי ה-NDVI של שדות החיטה בכל חווה מושפעים בהתאם וכך גם כמויות היבולים בכל חווה. בבית קמה ממוצע יבול החיטה בק"ג לדונם הינו הגבוה ביותר, לאחר מכן במשמר הנגב ולבסוף במיגדה. התפלגות היבולים לתחמיץ, שחת וגרעינים בחוות מופיע בטבלה 1.



איור 11 – ממוצעי משקעים ו-NDVI לאורך סדרת זמן בבית קמה, משמר הנגב, ומיגדה בעונה 2018-19.

טבלה 1: כמויות גשם מצטבר חודשי והתפלגות היבולים לפי תחמיץ, שחת, וגרעינים בבית קמה, משמר הנגב, ומיגדה, בעונה 2018-19.

גשם (מ"מ)						
מיגדה		משמר הנגב		בית קמה		
מצטבר	חודשי	מצטבר	חודשי	מצטבר	חודשי	
0.0	0.0	16.0	16.0	34.9	34.9	אוקטובר
16.0	16.0	59.5	43.5	89.1	54.2	נובמבר
41.0	25.0	92.5	33.0	144.1	55.0	דצמבר
49.5	8.5	106.3	13.8	185.1	41.0	ינואר
98.5	49.0	164.3	58.0	241.3	56.2	פברואר
110.0	11.5	190.5	26.2	267.0	25.7	מרץ
110.0	0.0	192.5	2.0	268.7	1.7	אפריל
0		350		372		תחמיץ
209		255		445		שחת
0		198		372		גרעינים
						יבול ממוצע (ק"ג/דונם)

סיכום

חידושים בתחום החישה מרחוק לחקלאות מדייקת מתרחשים במהירות בשנים האחרונות. תמונות הלוויין השתפרו מבחינת תדירות צילום, הרזולוציות המרחביות והספקטרליות. החידושים בתחום מאפשרים להבחין במאפיינים שונים ביבולים הקשורים לחומרי הזנה, מים, מזיקים, מחלות, ועוד. קיים פוטנציאל רב לחקלאות מדייקת משולבת ארכיוני חישה מרחוק ומידע בזמן אמת, על מנת לשפר ניהול משק חקלאי.

ארכיון וונוס מכיל מידע ספקטרלי רב, ברזולוציה מרחבית, וזמן חזרה גבוהים אודות אתרי עניין רבים בארץ ישראל ובעולם. ניתן לבצע ניתוח לתמונות במיקומים קבועים לאורך מספר עונות גידול ויבולים שונים, במטרה לזהות דפוסים פנולוגיים, ומשתנים נוספים. כמו כן, מידע שוטף ועדכני מונוס מאפשר זיהוי אנומליות והפרעות בחלקות גידול ולקבל החלטות בזמן אמת היכולות להביא ליעילות כלכלית וסביבתית.

תודות

המחברים מודים לצוות גדי"ש שיקמה ובמיוחד ללב ליטבינוב, על שתוף הפעולה ומתן האפשרות לעבוד על נתוני הגדי"ש.