

פיתוח כלי חישה חינוכי נגיש לחקלאי להערכת מדד שטח עלה, קצב צימוח ופוטנציאל

מים בצמחי חמצה בשדות מסחריים

איתי הרמן, המעבדה לחישה צמחים, המכון למדעי הצמח והגנטיקה בחקלאות, הפקולטה לחקלאות
מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים, קמפוס רחובות (Ittai.Herrmann@mail.huji.ac.il).

הראל גרינבלט, שה"מ (harelg@shaham.moag.gov.il)

תקציר : בישראל נזרעים בשנה 50-150 אלף דונם חימצה, מרבית השטח הוא שלחין. שימוש בהשקיית עזר בתקופה זאת מסייע להארכת התקופה הרפרודוקטיבית, מעלה את מספר התרמילים לצמח ומשקל הזרע הממוצע וכתוצאה מכך את יכול הגורים. על מנת לדייק בתזמון ההשקיה, חקלאים מסתמכים כיום על מדידת פוטנציאל המים בעלה באמצעות תא לחץ, שיטה זו מדויקת אך דורשת ציוד, זמן, מיומנות, מוגבלת למספר צמחים בכל יום ואינה מכסה את השדה כולו. חישה מרחוק מאפשרת מעקב וניטור שינויים במאפיינים שונים של צמחייה לאורך זמן ומאפשרת כיסוי של שטחים גדולים תוך התחשבות בשונות המרחבית. החתימה הספקטרלית של הצמח מכילה בתוכה מידע אודות מאפיינים פיזיקליים, פיזיולוגיים וביוכימיים של הצמח ומאפשרת הערכה של תכונות בעלות עניין לחקלאי או החוקר, כגון מצב המים בצמח, מדד שטח העלה וקצב הצימוח. מחקרים קודמים ומקבילים שלנו הניבו יכולת הערכה של תכונות חימצה מהחלל ומחקר זה מיועד להעביר יכולות אלו לכלי חינוכי שיהיה זמין לכל דורש.

מילות מפתח : חישה מרחוק, סנטינל-2, פוטנציאל מים, מדד שטח עלה, חקלאות מדייקת

מבוא

החימצה (*Cicer arietinum*) בישראל מגודלת ברוב שטחי הגד"ש בישראל. הזריעה היא בחורף (דצמבר-ינואר) בהשקיית בעל בחודשים הראשונים. בתום עונת הגשמים (מרץ) נפרשות שלוחות טפטוף המספקות את תצרוכת המים עד תום עונת הגידול (אפריל-מאי). ההשקיה הכרחית להבטחת יכולת ומקבילה לשלב התירמול ומילוי הזרעים. לעומת גידולי קיץ אחרים (כותנה, חמניות ותיירס) להם יש פרוטוקולי השקיה שאומתו במשך מספר שנים, בחימצה לא קיים ידע מספק, והחלטות מתקבלות לפי הידע האישי של המגדל והמדריכים. אין הגדרה של הכמויות הנדרשות להבטחת יכולת מרבית כמו גם אמצעים לזיהוי התפתחות תקינה של צמחים, ולכן ניתן להניח שיש מקום להתייעלות בנושא ההשקיה כמו גם ניטור שוטף של מצב הצמח. יש קשר בין השקיה ליכולת אך השקיה היא לא הגורם היחיד המשפיע על יכולת. לכן, אפשרות להעריך קצב צימוח במהלך עונת הגידול עשויה לעזור בהתנהלות המגדל.

השיטה הזמינה למגדלים היום לקביעת מצב המים בצמח היא תא לחץ, המודד את פוטנציאל המים בעלה. יש צורך בידע אודות מצב המים בזמן אמת או הקרוב לזמן אמת, אך יכולת זו דורשת ציוד, זמן ומיומנות כמו כן תספק מידע אודות מספר נקודות בשדה לכל היותר. לכן יש צורך בפיתוח יכולת להעריך מצב המים בצמח.

חישה מרחוק מוגדרת כאיסוף נתונים ללא מגע. החישה התרמית מאפשרת לקלוט שינויי טמפרטורה בעלים ועלווה תוך התבססות הקשר בין עקת מים המובילה לסגירת פיוניות ועלית טמפרטורת העלה. החיישנים התרמיים יקרים יחסית ודורשים תיקון רדיומטרי וכיול, יחד עם זאת שימשו בהצלחה לפיתוח מודלים לזיהוי ומיפוי מצב המים בגידולים שונים (תיירס, כותנה ותפוח אדמה) בארץ ובעולם,

אך לא עבור חימצה. הפעלת חיישנים אלו דורשת מיומנות רבה ויכולת הכיסוי מוגבלת בשטח במקרה של שימוש קרקעי, במקרה של שימוש מרחפן ידרוש יישום טכנולוגיה נוספת ובמקרה של לווין תרמי הרזולוציה המרחבית והעיתית עשויות להיות גסות מדי. החישה הספקטרלית בתחום הקרינה הנפלט מהשמש (400-2500 ננומטר) כולל בתוכו את התחום הנראה (400-700 ננומטר), האינפרא אדום הקרוב (700-1200 ננומטר) ואת האינפרא אדום קצר הגל (1200-2500 ננומטר). חישה מולטי-וסופר-ספקטרלית כוללת אורכי גל בודדים עד עשרות ומתבססת בעיקר על החזר הקרינה ממטרות. המידע הספקטרלי המתקבל מהצמח כולל בתוכו תערובת של סך התכונות הפיזיות והכימיות של המטרה ובכך יכול לשקף את מצב הצמח. אחד החיישנים הסופרספקטראליים החדשים ביותר הוא החיישן שנמצא על לווין הוונס (לוויין ישראלי – צרפתי, ששוגר באוגוסט 2017). הוונס מיועד למטרות מחקר של צמחייה חקלאית ומותאם לכך. דימותי לווין הוונס ניתנים בחינם למטרות מחקר. על בסיס דימותי לווין הוונס פותחו מודלים להערכת תכונות צמח שהוצגו במחקר קודם. היות והזמן בו וונס צפוי לתפקד והכיסוי העולמי שלו מוגבלים ולמרות שוונס הוא לווין ייחודי שאין כמוהו, עבודתנו זו מתמקדת בפיתוח מודלים בעזרת קונסטלציית סנטינל-2, המורכבת משני לוויינים המספקים נתונים אחת ל 5 ימים, בגודל פיקסל של משתנה – אנחנו עובדים עם פיקסל בגודל 20 מטר כדי לכלול את ערוצי גבול האדום הרלוונטיים מאוד גם למחקר הנוכחי. כמו כן, נתוני סנטינל-2 כוללים גם ערוצים בתחום האינפרא אדום קצר הגל הרלוונטיים לנושא מצב המים בצמח.

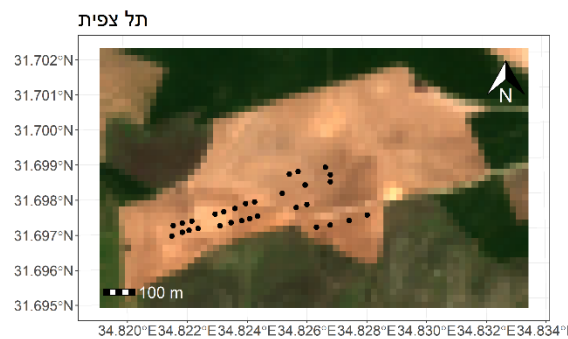
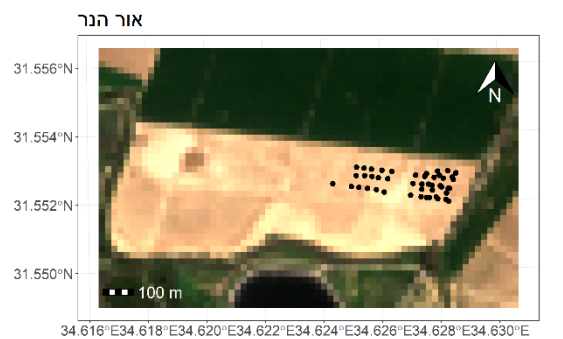
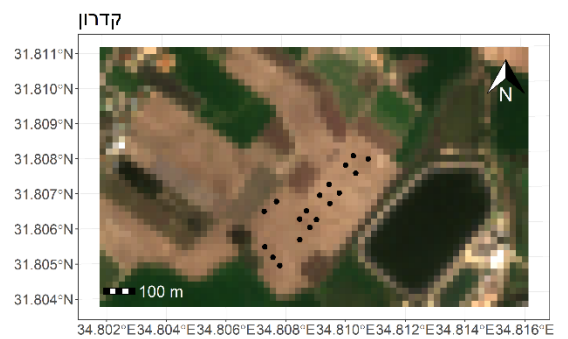
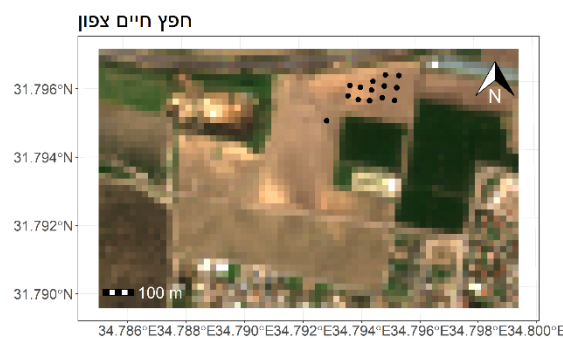
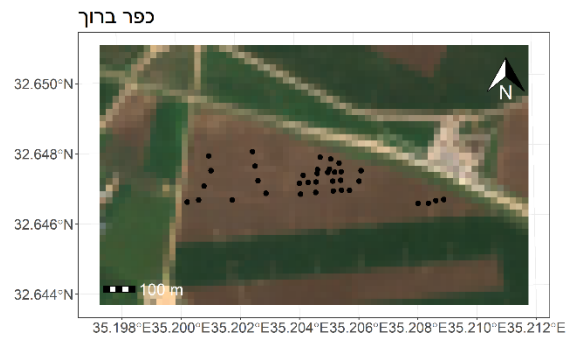
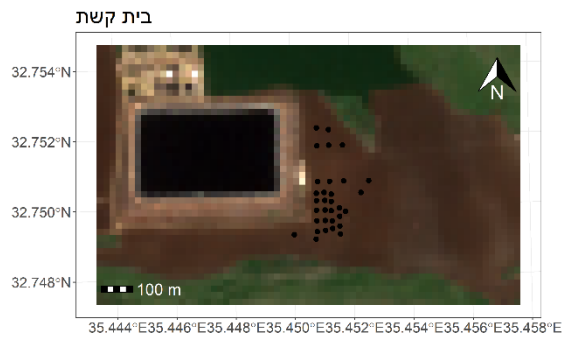
חומרים ושיטות

עומר פרח, דוקטורנט במעבדה לחישת צמחים, ביצע את עבודת איסוף נתוני השדה בשדות החמצה ברחבי ישראל כמו גם את מלאכת עיבוד הנתונים במסגרת התואר השלישי שלו בהנחייתי במימון מענק מדענית משרד החקלאות. מימון זה של ארגון עובדי הפלחה מיועד לתמיכה ופיתוח הכלי החינמי. הראל גרינבלט אמון על העברת המודלים שעומר מפתח אל פלטפורמת מנוע הגוגל ארץ (GEE) ופיתוח התצוגה באתר אותו פתח עבור המחקר. מחקר זה בוצע בסיועם של אסף אבנרי (מדריך חקלאי ודוקטורנט במעבדותיהם של ד"ר רן לאטי ופרופ' שחל עבו) ואור רם משה"מ. כמו כן יש להודות לגד"שים ולחקלאים הפרטיים שבשדותיהם עבדנו. נשמח לדעת על מגדלי חומס נוספים שמעוניינים להצטרף.

במהלך עונת 2022 נאספו מאות דגימות משדות חימצה ברחבי ישראל (איור 1). הדגימות נאספו סביב נקודות שמיקומן הוגדר ברמת הסנטימטר כך שייצגו את המידע הספקטראלי מהפיקסלים הרלוונטיים. הנקודות מוקמו כך שניתן יהיה לבדד מידע ספקטראלי ולצמצם חפיפה. בנקודות אלו נמדד פוטנציאל מים (תא לחץ) והוערך מדד שטח העלה (ספטומטר). מידע נאסף מאותן הנקודות במהלך עונת הגידול כדי לראות את ההתפתחות לאורך ציר הזמן. דימותי הסנטינל-2 הורדו מאתר הלוויין לאחר תיקונים רדיומטרי, אטמוספרי וגיאומטרי, כך שהם מדויקי מיקום ובערכים של החזרה וניתן לעבד דימותים ממועדים שונים יחד.

הנתונים הספקטראליים עובדו יחד עם ערכי התכונות שנאספו בשדה לשם בניית מודלים ספקטראליים להערכת פוטנציאל המים ומדד שטח העלה. המודלים להערכת תכונה לאורך העונה נבנו על סמך אימון (קליברציה) ובחינה (וולידציה) של דגימות, כלומר דגימות שהיו חלק מכיול המודל לא יהיו חלק

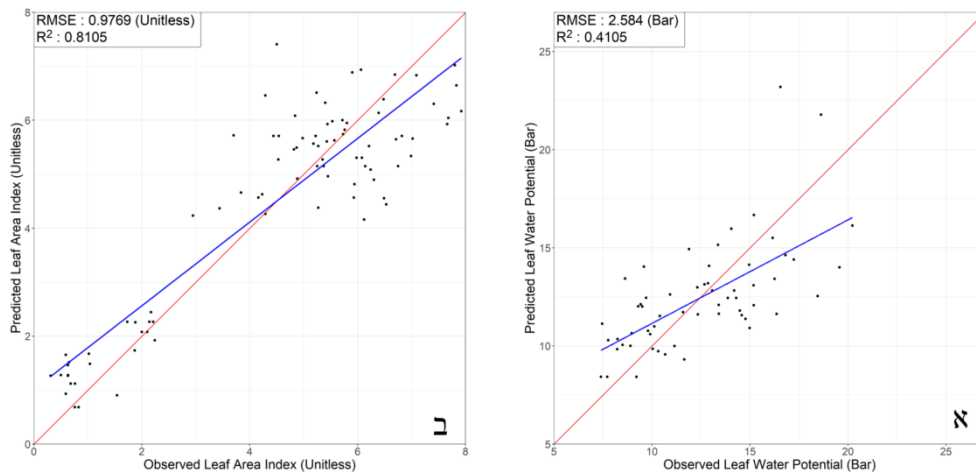
מהאימות שלו. המידע הספקטראלי נותח על ידי כלל ערוצי סנטינל-2 הרלוונטיים עבורנו בעזרת מודלים לינאריים לבחירת מינימום ערוצים עם יכולת הערכה המרבית.



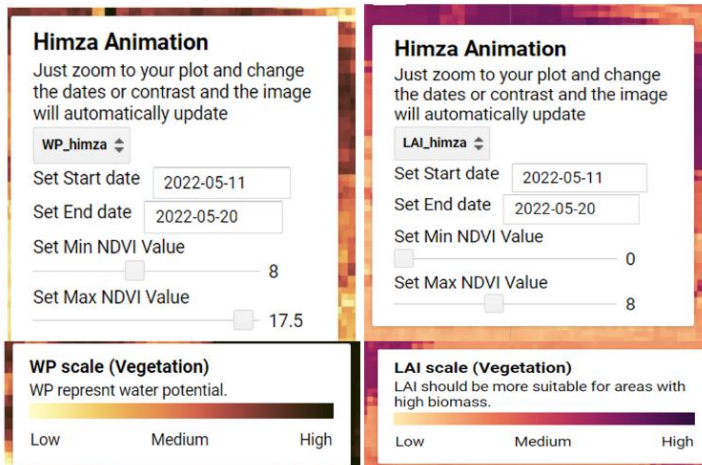
איור 1 : שדות חמצה בהם בוצע איסוף נתונים ברחבי ישראל.

תוצאות ודיון

בפרק התוצאות מופיעה דגימה של התוצאות העוסקות ביכולת הערכת פוטנציאל המים ומדד שטח העלה כמו גם המיפוי שלהם בשדות לדוגמא על בסיס האתר שבנה הראל גרינבלט. כמו כן, תוצאות העבר המבוססות על לוויין וונוס מופיעות בתזה של רועי שדה בספריית הפקולטה לחקלאות (יש גישה במרשתת) והתוצאות יאוגדו למאמר שיפורסם. פוטנציאל המים הוא תכונה בלתי נראית, לכן הקשר למידע הספקטראלי כולל בתוכו מגוון מאפיינים הקשורים למצב הצמח. באיורים 2א ו 2ב ניתן לראות את הקשר בין ערוצי סנטינל-2 לפוטנציאל המים ולמדד שטח העלה, בהתאמה. חשוב לציין שפוטנציאל המים הוא תכונה התלויה מאוד בתנאי סביבה ולכן יכולת ההערכה שלה משתפרת אם נתונים אלו משולבים במודל ההערכה, כפי שנציג בדו"ח למדענית משרד החקלאות ובימים אלו ואנו עובדים על מאמר שיפורסם. באיור 3 ניתן לראות את הממשק של האתר אותו בנה הראל. בהקשר של מחקר זה, הראל בנה אתר בפלטפורמת GEE והעלה אליו את המודלים שעומר פיתח (איור 4). אלו מודלים לינאריים יחסית פשוטים (7 ערוצים לפוטנציאל מים ו 3 ערוצים למדד שטח עלה), בשנה הקרובה נעבוד בין השאר על היכולת להעלות מודלים מורכבים יותר לפלטפורמת ה GEE.

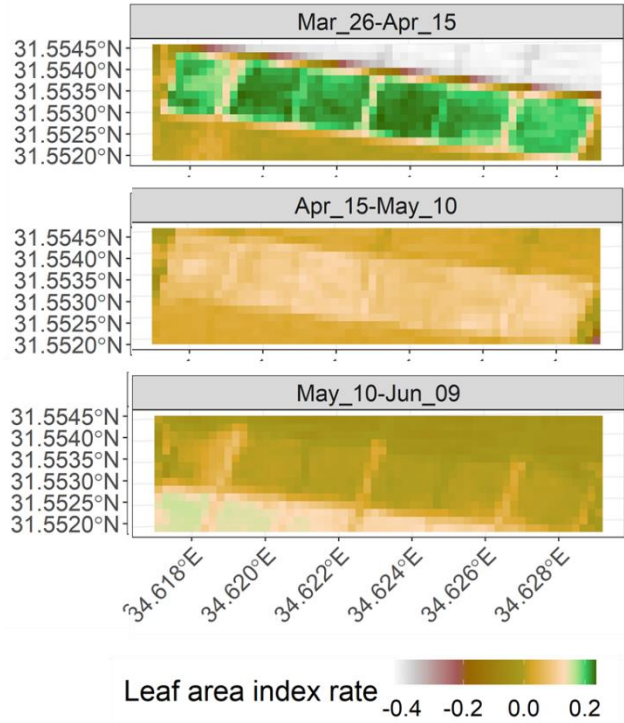
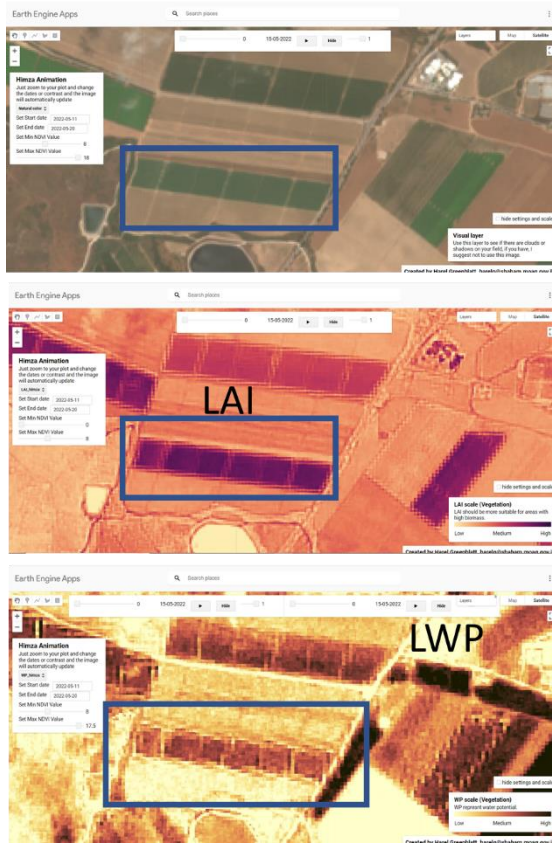


איור 2: תוצאות האימות של מודלים לינאריים להערכת פוטנציאל מים (א) ומדד שטח עלה (ב).



איור 3: האתר שהראל בנה בפלטפורמת GEE. ניתן לראות את בחירת טווח התאריכים, הערכים של NDVI (יש לסדר זאת שיתאים לכל תכונה), ולמטה את טווח הערכים שכעת מראה גבוה, בינוני, ונמוך (כדאי לחשוב על ערכים מספריים. ניתן לייצר מצב בו תהיה הפרדה טובה יותר בכל תאריך אבל אז יהיה קושי להשוות בין המועדים השונים).

אור הנר 15 במאי 2022



אור 4: דוגמאות מהשדה באור הנר. בצד השמאלי, מתוך אתר ה GEE שבנה הראל יישום המודלים הלינאריים שעומר פיתח. בצד ימין רואים את אותו השדה בשלושה מועדים, כאשר הצבעים מייצגים את קצב השינוי במדד שטח עלה (דלתא מדד שטח עלה מחולק בטווח הזמן בין המועדים). שימוש בהערכת קצב השינוי של מדד שטח העלה מאפשר לראות קצבי התפתחות הגידול בשדה שלא דווקא יהיו חשופים בעיבוד מועד בודד והכוונה היא לשאוף להצגת יכולת זו באתר ה GEE.

לסיכום, ישנה יכולת הערכה תכונות צמח בכלים ספקטראליים ועל בסיס זה יש הצגה של מפות התכונות. ניתן להעריך גם תכונות שאיננו רואים. היכולת להעריך את פוטנציאל המים ומדד שטח העלה עוד צריכה להמשיך ולהיבדק על סמך נתונים משדות רבים ככל האפשר, כפי שיתבצע בעונת 2023. המטרה היא לשפר את המודל כך שיהיה כוללני ככל האפשר מצד אחד אך מצד שני אם יתברר שישנן אוכלוסיות שונות (בעקבות סוג קרקע, ממשק או זן חימצה או גורם אחר) ניתן יהיה לבנות מודלים ספציפיים לאוכלוסיות אלו. כמו כן, בהקשר הערכת התכונות, ראינו שיש חשיבות לתנאי הסביבה, כלומר, שילובם מאפשר יכולת הערכה טובה יותר. בהקשר המחקר הנוכחי, המטרה לשנה הנוכחית (עונת 2023) היא לאפשר הצגה נוחה ככל האפשר של התוצרים כמו גם לבחון את היכולת להעלות מודלים מורכבים יותר (שיטות סטטיסטיות כמו גם שילוב נתוני סביבה בפלטפורמה) לפלטפורמת ה GEE.