

**Usability of environmentally sound and reliable techniques in precision
agriculture (USER-PA)**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר

על-ידי

ויקטור אלחנטי המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי

רונית רוד המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי

Victor Alchanatis, Agricultural Engineering Institute, ARO, the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. Email: victor@volcani.agri.gov.il

Ronit Rud, Agricultural Engineering Institute, ARO, the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. Email: ronit@volcani.agri.gov.il

בשיתוף עם ויאצ'סלב אוסטרובסקי, רומן בריקמן, אשר לוי, אסף אלון - המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי

תקציר

שיטות חקלאות מדויקת מיושמות כל אחת בנפרד והטמעתן באופן אינטגרטיבי עדיין לא מיושם. מטרת הפרויקט היא לגשר על פערים אלו ולאפשר מערכת ומסגרת עבודה המשלבת פתרונות טכנולוגיים אמיתיים שקיימים בנפרד. במערכת המוצעת ישנם שני מרכיבים עקריים: (1) פלטפורמה ניידת שאוספת ומספקת נתונים ו- (2) מערכת תומכת החלטה לניהול הגידול במטעים וכרמים. המערכת המוצעת נבנתה ע"י מספר שותפים שכל אחד מהם מומחה בתחומו – חיישנים, פלטפורמה אוטונומית ומערכות מידע לניהול.

הצוות הישראלי הוביל את הפיתוח של מערכת חישה תרמית לניטור מצב המים. בוצעו ניסויים בכרמים באזור שלה, באזור יתיר וברמת מגשימים במהלך חודשי מאי עד ספטמבר בשנים 2013, 2014 ו-2015. כמו כן, בוצעו ניסויים בשוויץ בתפוחי עץ במהלך עונת האביב בשנים 2014 ו-2015, בשני מועדים כל שנה. נוף הגידולים צולם באמצעות מצלמה תרמית מפלטפורמה ניידת ומפלטפורמה ניידת. נבנו אלגוריתמים ותוכנה לחילוץ טמפרטורת העלווה מתוך התמונות התרמיות. נמדדו פרמטרים פיסיולוגיים של הגידול כמו מוליכות פיוניות, פוטנציאל מים בגזע ועוד. חושבו מספר מדדים תרמיים המבוססים על עקרונות חישוב שונות. נבנה הקשר בין המדדים התרמיים לבין הפרמטרים הצמחיים. נקבע הפרוטוקול אשר באמצעותו ניתן למפות את מצב המים בצמח כאשר החישה מתבצעת מפלטפורמה ניידת בשדה: זווית צילום של 45 מעלות טובה יותר מצילום מהצד; צילום של הצד המוצל של העלווה מביא לרעש קטן יותר במדידה אבל קשר חלש יותר עם הפרמטרים הצמחיים; החישוב התאורטי של טמפרטורות הייחוס מתאימות יותר לחישוב אינדקס עקת המים (CWSI); שילוב של

נתוני אקלים רגועים עם הליך אוטומטי סטטיסטי מאפשר חישוב ONLINE של אינדקס העקה CWSI. נתוני החישה הועבר למערכת מידע גיאוגרפית ייעודית לחקלאות – FMIS (Farm Management Information System), ושולבו עם שכבות מידע נוספות, אשר מקורם בחישובים נייחים וניידים. ממשק המשתמש שפותח על ידי הקבוצה היוונית מאפשר צפייה ועיבוד הנתונים.

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: פן/לא (מחק את המיותר)

חתימת החוקר _____ תאריך: _____
אייר, התשע"ו מאי 2016

תוכן עניינים

1	מבוא
2	מטרת המחקר
2	פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר
2	ניהול הפרויקט (WP8)
3	פיתוח מערכת חישה לניטור חופת הצומח מפלטפורמה ניידת (WP1+3)
4	רכישת צילומים מפלטפורמה ניידת
4	זווית צילום
5	חישוב מדד עקת המים (Crop Water Stress Index (CWSI)
6	שילוב חיישני הצילום במערכת (WP3)
9	ניסוי שדה (WP6)
9	כרמים
13	תפוחי עץ

14	 דיון ומסקנות
16	 תוספות למחקרים אינטגרטיביים
20	 סיכום עם שאלות מנחות

תזמון מועדי השקיה ואיסוף ייבול הינן שאלות מרכזיות בפניהן ניצב כל מגדל. השקיה ודישון במידה לא מתאימה, עודף או חוסר, מביאים לעליות מיותרות ואף לזיהום תת הקרקע בדשן עודף או גורמים לפחת בייבול (איכות וכמות). פחת בייבול והקטנת רווחי גידול עשויים להגרם גם מתזמון לא אופטימאלי של מועד איסוף הייבול. חקלאות מדייקת מהווה את הבסיס למידע ממגוון מקורות המכוונים לתת מענה לצרכים מקומיים נקודתיים ע"י יישום משתנה במרחב. מערכת חישה מרחוק ומקורב המבוססת על רשת חיישנים לניטור מצב הגידול והקרקע יכולה לאפשר את איסוף הנתונים הדרושים לחקלאות מדייקת. יחד עם זאת כדי לאפשר בסיס נתונים רחב ואמין לתהליכי קבלת החלטות עימן אמורה להתמודד חקלאות מדייקת, יש צורך במידע ברזולוציה גבוהה מבחינה תמטית, מרחבית ועיתית. לרוב כמות הנתונים המרחביים (site specific data) שנאספים היא עצומה אולם רק חלק קטן מגיע לכדי מימוש מודלים אגרנומים המשמשים את המגדלים כדבר שבשגרה, במהלך העונה ואסיף הייבול. קיים פער בין איסוף הנתונים לבין שימוש יעיל בהם בתהליך קבלת ההחלטות בניהול הגידול (Bogrekci et al 2005; Fountas et al., 2011).

הרבה טכנולוגיות המבוססות על חיישנים, בעיקר אופטיים, פותחו בעשורים האחרונים לניטור גידולים (Alchanatis and Cohen 2011) והערכת איכות הייבול (הפרי) (Zude et al. 2006). רק חלק קטן מטכנולוגיות אלו שולבו לכדי מערכת כוללת לניהול הגידול. בנוסף, יישום טכנולוגיות של ספקטרוסקופיה להערכת איכות הפרי בתחום האולטרא-סגול והנראה ותחום האינפרא-אדום הקרוב (כלורופיל, סינאידין (Cyanidin), קרוטנואידים ותכולת מים) נעשות רק בשלב שלאחר הקטיף; וקיימים מעט מכשירים ניידים לביצוע בדיקות אלו בשטח בשלב שלפני הקטיף (Zude et al. 2006). תוכנות מחשב ייעודיות שמשמשות לרישום ניתוח וויזואליזציה של של המידע מציגות קשת רחבה של כלים העומדים כל אחד בפני עצמו, מרמה ראשונית (רישום "היסטוריה של גידולים") ועד לרמת של ניתוח מרחבי במערכות ממ"ג (GIS). לרוב המידע המופק באמצעים אלו מתקבל בזמן שאינו אפקטיבי לביצוע פעולות מתקנות במהלך הגידול והקטיף (Fountas et al., 2005).

במסגרת פרויקט זה שולבו רכיבים קיימים וחדשים של מערכות חישה, פלטפורמה לאיסוף נתונים ומערכת לניהול הגידול, בהתבסס על יידע שנצבר בפתוח רכב אוטונומי וחיישנים לחקלאות מדייקת (ROBOFARM, FUTUREFARM ו-3D-MOSAIC). הפרויקט התמקד בשיפור והתאמת הפלטפורמה האוטונומית למטעים וכרמים ליין, ופתוח פתרונות ניהול כמערכת תומכת החלטה (עיבוד נתונים והצגת תוצאות ניתוחם באופן ויזואלי) לניהול השקיה והקטיף.

אחת מתגובות הצמח למחסור במים היא סגירה חלקית של הפיוניות, המגבילה את איבוד המים מהצמח ומאטה את תהליך הדיות. סגירה זו מגבילה גם את המעבר של דו-תחמוצת הפחמן לתוך העלה וכך מורידה את קצב הפוטוסינתזה ובסופו של דבר את ייצור המוטמעים והצמיחה של הצמח. טמפרטורת העלה נמצאה במתאם עם מוליכות הפיוניות והיותה, בעקיפין, אינדיקציה על מצב המים

בצמח (Fuchs, 1990; Evett et al., 1996). אינדקסים של צומח כדוגמת NDVI הנם בעלי מתאם לתכסית (Rouse et al., 1974) ולכן יכולים לשמש כאידיקציה לצימוח וגטטיבי.

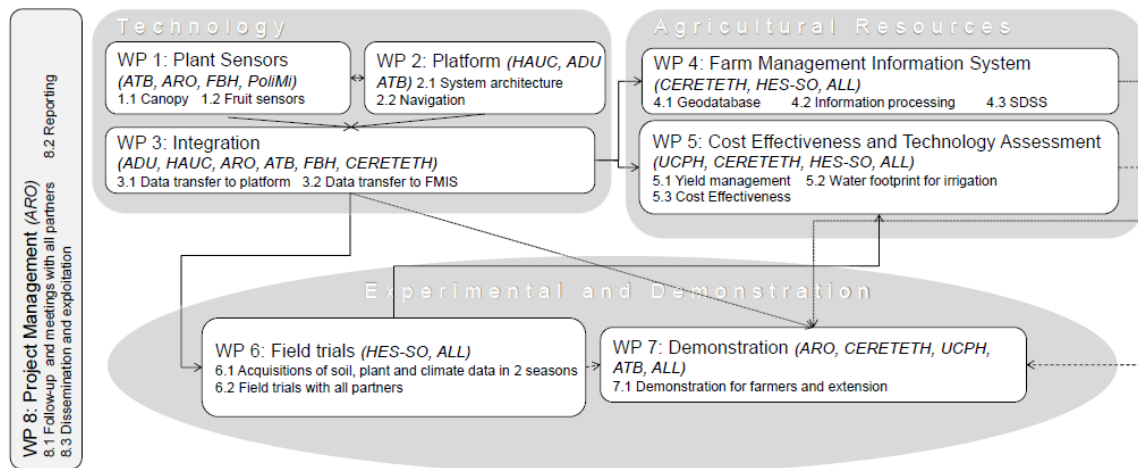
מטרת המחקר

מטרת המחקר הכללית לפרויקט USER-PA היא לפתח ולהדגים מערכת משולבת לחקלאות מדייקת במטעים וכרמים המתמקדת במידע מרחבי לניהול ההשקיה והקטיפה.

מטרת המחקר המשנית בהקשר לניהול ההשקיה היא לפתח מערכת להערכת מצב המים בגידול באמצעות צילום תרמי וצילום בתחום הנראה ואיפרא-אדום הקרוב (אא"ק). מטרה זו הוגדרה כיעד המרכזי לקבוצת העבודה האחראית על מערכת החישה של חופת הצומח - המכון להנדסה חקלאית במנהל המחקר החקלאי (ARO).

פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

בהצעת המחקר לפרויקט (USER-PA) הוגדרו השלבים לשותפים השונים, למימוש מטרת המחקר הכללית ((Work Package (WP)). המכון להנדסה חקלאית במנהל המחקר החקלאי (ARO) אחראי באופן ישיר על ניהול הפרויקט, ובאופן ספציפי על חיישני חופת הצומח, כולל שילובם במערכת (איור 1, WP8, WP1 ו-WP3 בהתאמה). זאת בנוסף על השתתפות בניסויי שדה, הדגמות ועיצוב בסיס הנתונים של מערכת הניהול לחקלאי. בחלק זה נתאר את ההתקדמות לפי השלבים שהוגדרו לקבוצת העבודה שלנו.



איור 1. קבוצות העבודה ((Work Package (WP)) והקשרים ביניהן כפי שהוגדרו בהצעת המחקר.

ניהול הפרויקט (WP8)

במסגרת פרויקט תלת-שנתי זה שימשנו כמתאמים ומנהלי הפרוייקט. מעצם הגדרה זו קישרנו בין כל קבוצות העבודה, קיימנו מפגשים שנתיים ודיווח ל-ICTAGRI, עקבנו אחרי ביצוע כל אחד מהיעדים שהוגדרו להשגת מטרת הפרוייקט הכללית.

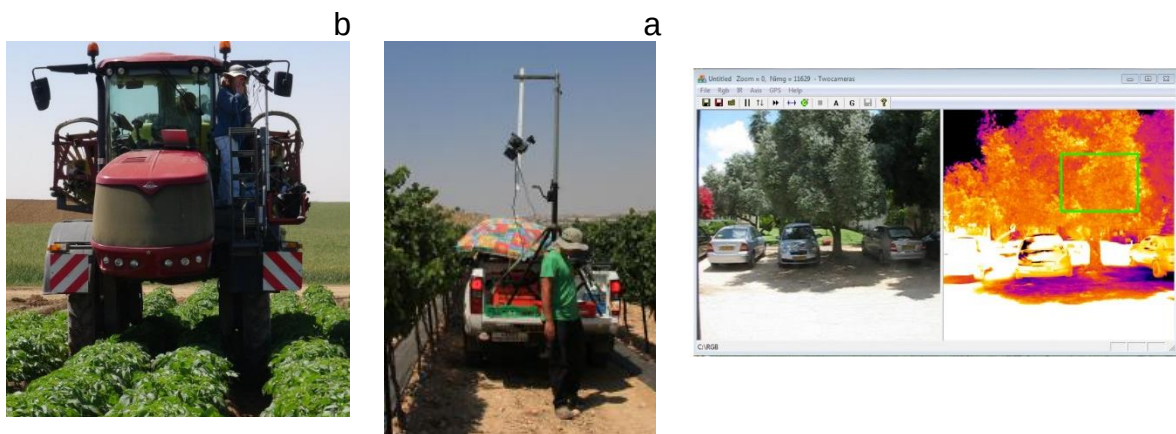
במרץ 2013 נחתמו הסכמי שיתוף פעולה בין כל השותפים. במהלך שלוש השנים של פרויקט קוימו ארבעה מפגשים: שלושה מפגשים שנתיים (ראו נפסחים, סכומי מפגשים שנתיים) ומפגש מסכם: מפגש הפתיחה התקיים בארץ במכון להנדסה חקלאית באפריל 2013; מפגש בתום השנה הראשונה בברלין ינואר 2014; מפגש בתום השנה השנייה באתונה, יוון בינואר 2015; מפגש סיכום באנגליה בינואר 2016. במפגש הפתיחה נדונו עיקרי הפרויקט ופורטו שלבי העבודה. במפגשים השנתיים נדונו תוצאות ניסויים שערכה כל קבוצה בארצה ומערך הניסוי שהוקם בשוץ במהלך שנתיים, במטע תפוחים, במהלך קיץ 2014 וקיץ 2015. ניסוי שדה נוסף היה אמור להתקיים בתורכיה במהלך הקיץ, בכרם ענבי מאכל, אך זה לא בוצע על ידי הקבוצה המקומית.

נושא מרכזי שריכזה הקבוצה הישראלית הוא הממשק בזרימת המידע בין מערכות המדידה לבין מערכת המידע FMIS. הוגדרו הפרמטרים הנדרשים על ידי מערכת המידע, הוגדר הפרוטוקול לתקשורת עם מסד הנתונים ובוצעו ניסיונות לאימות התהליך.

פיתוח מערכת חישה לניטור חופת הצומח מפלטפורמה ניידת (WP1+3)

התאמה של מערכות החישה: פותח ממשק הפעלה של שני סוגי המצלמות בו זמנית. ממשק ההפעלה מאפשר קבלת תמונות וידאו תרמיות ובתחום הנראה, בו זמנית; ובמקביל איסוף נקודות GPS המיוחסות למיקום המצלמות בעת הצילום (איור 2).

הציוד ההיקפי שחובר לממשק הפעלה שהותקן על מחשב נייד (Windows 7) כלל: GPS, מצלמה תרמית FLIR SC655 (micro bolometer sensor with sensitivity of 0.05°K , 640×480 pixels), (accuracy $\pm 2^\circ$) ומצלמה בתחום הנראה (Canon sx110is). שילוב מצלמת בתחום והא"ק, מצלמת NDVI לא בוצע, כי ניתן היה לחשב את גודל החופה מהמידע של המצלמה בצבע.



איור 2. ממשק הפעלה Two Camera: **איור 3.** צילום מפלטפורמה ניידת. תצוגת המצלמה התרמית מימין והתחום הנראה משמאל.

ממשק זה הופעל ונבדק במהלך עונת הגידול של קיץ 2013 בכרם ליין ובמהלך אביב 2014 בגידולי שדה (איור 3a ו-3b בהתאמה), תוך כדי נסיעה במהירויות נסיעה ותדירויות צילום שונות. הצילומים בוצעו במספר מועדים בשלבי גידול מתקדמים, בחלקות בהם היו טיפולי השקיה שונים. על סמך

התנסות זו נעשו התאמות נוספות שכללו: סימון אזור עניין ממנו מחולצת טמפרטורת הצמחייה (איור 2), הכנסת פרמטרים לחישוב זה ולחישוב מדד עקת המים.

רכישת צילומים מפלטפורמה ניידת

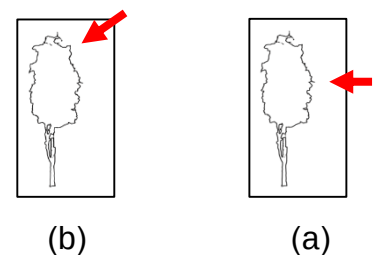
בדיקת מערכת החישה נעשתה בצילום מפלטפורמה ניידת. נבחנו תדירויות צילום שונות. מטרת בדיקה זו הייתה לבחון את איכות המידע שמתקבל בתדירויות צילום ולהגדיר את מגבלות המערכת במצב עבודה תוך כדי נסיעה.

קביעת תדירות הצילום נעשית בהתאם למהירות נסיעת הפלטפורמה, הזמן הדרוש לכיסוי כל מרחב החלקה הנמדדת ורזולוציה מרחבית הדרושה לאבחנה בתופעה בסקלה של גודל של שתיל. תדירות הצילום הגבוהה ביותר שמתאפשרת באמצעות ממשק ההפעלה של Tow Cameras הוא 2 שניות. מהירות גבוהה מזה לא ניתן לשמור תמונות ממצלמת ה-Canon (לא בכרטיס המצלמה ולא בזכרון המחשב אליו היא מחוברת).

בהתייחס לנתוני מהירות נסיעת הפלטפורמה, גודל תופעה מינימלי אפקטיבי לאבחון הבדלים בטמפרטורה לאורך שורה הוא כעשרה מטר. בנוסף, ממשק ההפעלה של Two Cameras מאפשר צילום במשך כשעה ולכן, כדי לכסות מטעים וכרמים גדולים יש צורך להפעיל מחדש את המערכת מספר פעמים.

זווית צילום

המידע המגיע האל חיישני המצלמה (מטריצת פיקסלים (CCD)) תלוי בזווית הצילום ובמרחק מן האובייקט, שורות הגידולים. במסגרת פרויקט זה מוקד העבודה הוא בניטור מצב המים בשלבים מתקדמים של הגידול. בשלב זה חופת הצומח בגידול תקין מפותחת ומלאה. לכן, הבדלים בין זווית צילום אנכית לאלכסונית, ממרחק צילום של כ-2 מ' לא התבטאו בשינויים בצפיפות חופת הצומח בשדה הראיה אלא ביחסים שבין אחוז העלים המוארים והמוצללים.



איור 4. זווית צילום (a) אנכית ו- (b) אלכסונית

זיהוי פיקסלים של חופת הצומח וחילוץ טמפרטורת העלווה קיימות שתי גישות לחילוץ טמפרטורת העלווה: בהתבסס על צילומים תרמיים בלבד או בעזרת מידע משלים מצילומים בתחום הנראה והאד"ק (Rud et al 2014). השימוש במידע משלים מצילומים בתחום הנראה והאד"ק מאפשר זיהוי של חופת הצומח בדיוק גבוה, יחד עם זאת הוא מייקר ומאריך את זמן פענוח הצילומים – הוא דורש שימוש במצלמה נוספת, תוכנה לאיסוף המידע והעברתו ושטח

אחסון. בנוסף יש צורך לבצע התאמה בין שני סוגי הצילומים (co-registration) עבור כל נקודת מדידה באופן מדויק ביותר. לפיכך, חילוץ טמפרטורת הצמחייה בפרויקט זה נעשה בהתבסס על צילום תרמי בלבד.

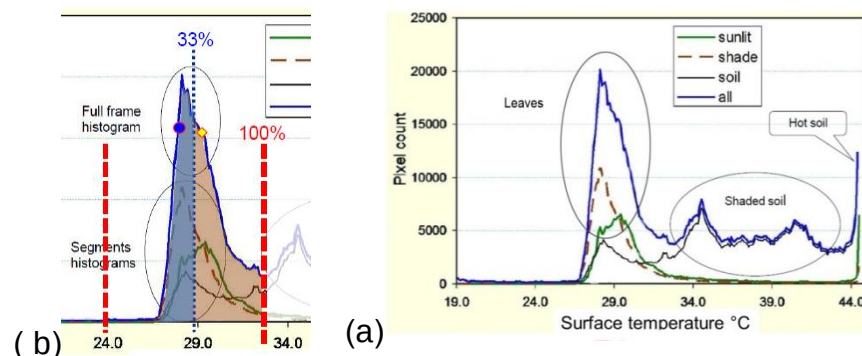
בבדיקת המרחב המצולם בתמונה התרמית נמצא כי טמפרטורת העלים בתמונה משתנה בין עלים מוצלים למוארים ותלוי בתנאים המטאורולוגיים בשעת הצילום. ברוב המקרים נראה פיזור דומה של ערכי הפיקסלים כפי שמוצג לדוגמא באיור 5a. כלומר, טמפרטורת העלים נמוכה מטמפרטורת הקרקע בכל אחד מהמקרים שנבחנו: כלל העלים, עלים מוארים ועלים מוצלים. זיהוי העלים כצמחייה נעשה בהתבסס על הבדל זה ושימוש בערכי סף ליצירת סגמנטים של עלים נבחרים במרחב התמונה התרמית:

מוארים (SLL) $T_{air} < T_{SLL} < T_{air}+5$

מוצלים (SL) $T_{air}-10 < T_{SL} < T_{air}$

כלל העלים (All) $T_{air}-10 < T_{All} < T_{air}+5$

כדי להבטיח שימוש בפיקסלים המיוחסים רק לעלווה ולא לכלול גם פיקסלים מעורבים (בעיקר בשולי הצמחייה המכילים מידע שמקורו בטמפרטורת הקרקע), נעשה שימוש ב- 33% מהפיקסלים שזוהו כעלים, בעלי הערכים הנמוכים יותר, ועבורם חושב הערך הממוצע לייצוג טמפרטורת הגידול (איור 5b).



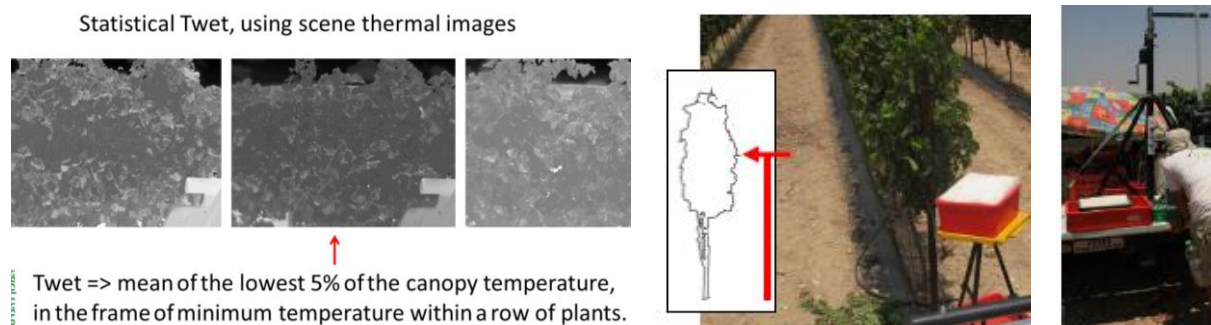
איור 5. התפלגות ערכי טמפרטורה בצילום תרמי: (a) ההפרדה בין טמפ' העלים לקרקע ו- (b) חישוב ערך מייצג לגידול – ממוצע של 33% מהפיקסלים בעלי הערכים הנמוכים של סגמנט נבחר (מסומן בעיגול כחול)

חישוב מדד עקת המים (Crop Water Stress Index (CWSI))

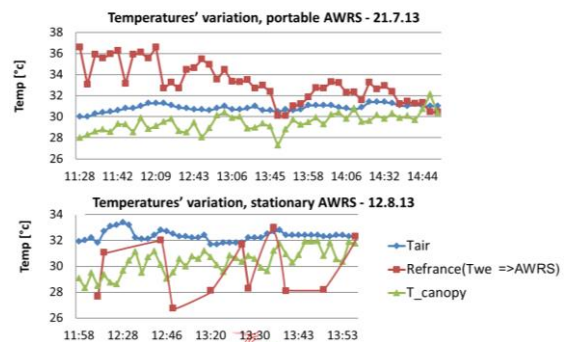
מדד עקת המים מבוסס על הפרש בין טמפרטורת האוויר והעלה שמנומל לשינויים בתנאים מטאורולוגיים במקום המדידה (Idso et al. 1981). המדד חושב באופן הבא:

$$CWSI = (Tl - Twet) / (Tdry - Twet)$$

T_{dry} ו- T_{wet} משמשים כטמפרטורות ייחוס של עלים בתנאים מטאורולוגיים דומים, המיצגים מצבי קיצון של עקת מים חריפה (פיוניות סגורות) וללא עקה עם זמינות מים בלתי מוגבלת (פיוניות פתוחות במלואן). TI מייצג את טמפרטורת העלה (חופת הצומח) ונלקח מהצילומים התרמיים (33% הפיקסלים בעלי הערכים הנמוכים מסגמנט נבחר). $T_{dry} = T_{air} + 5$, נקבע אמפירית במחקרים שנעשו בשנים קודמות ונמצא מתאים גם כאן. לגבי T_{wet} נבחנו שתי אפשרויות: (1) שימוש באמבטיית מים ומשטח מלאכותי המדמה דיות ללא מגבלה (בדומה לצמח בעל זמינות מים אידיאלית ופיוניות פתוחות במלואן) (2) שימוש בטמפרטורת מינימום מתוך הצילומים התרמיים. תוצאות מבדקים אלו מוצגים באיור 6.



איור 6. טמפרטורת מינימום: (a) מתוך הצילומים התרמיים מהתמונה בעלת הערכים הנמוכים בפס הצילום, משטח ייחוס מלאכותי נקבובי שצף במים סופח ומאדה ומדמה דיות דרך פיוניות העלה במצב ללא מגבלת מים (b) המוצב על הטנדר (נייד) ו- (c) קבוע בשטח, (d) ערכי טמפרטורת האוויר, משטח הייחוס המלאכותי והגידול בשני מועדים.



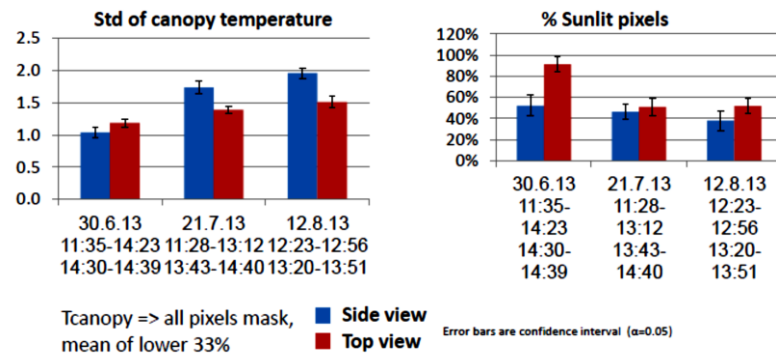
מניתוח תוצאות אלו עולה שלא ניתן להשתמש במשטח הייחוס מלאכותי ביישום חקלאי מסחרי: כאשר המשטח נייד על פלטפורמת המצלמות, קיימת תנודה רציפה, המים בתנועה והטמפרטורה המתקבלת גבוהה ואינה מייצגת מצב של צמח מדיית בתנאים אופטימליים. כאשר המשטח מוצב באופן קבוע בשטח יש להקפיד על קיום מפלס מים הדרוש ועל ייצוב טמפרטורה. בניגוד לכך, השימוש בטמפרטורת מינימום מהצילומים נראה אפשרי, בתנאי שאכן קיים בשטח הגידול אזור המקבל השקיה עודפת.

שילוב חיישני הצילום במערכת (WP3)

שילוב חיישני הצילום במערכת עוסק בשני מרכיבים: (1) קביעת מיקום המצלמות על גבי הפלטפורמה ניידת ו- (2) הגדרת הפלט שתייצר מערכת הצילום. שני היבטים אלו קשורים זה בזה. אופן קיבוע המצלמות משפיע על המרחק והזווית של הצילום ולכן הינו בעל חשיבות רבה בהשפעה על איכות

הנתונים והפלט שיווצר ויועבר למערכת המידע בהמשך. קביעת מיקום המצלמות וזווית הצילום נבחן ע"י השוואה בין ערכי טמפרטורת הגידול שחולצה מצילומים אלכסוניים (מעל לחופת הצומח) ואנכיים (במבט צד בגובה חופת הצומח) (איור 7).

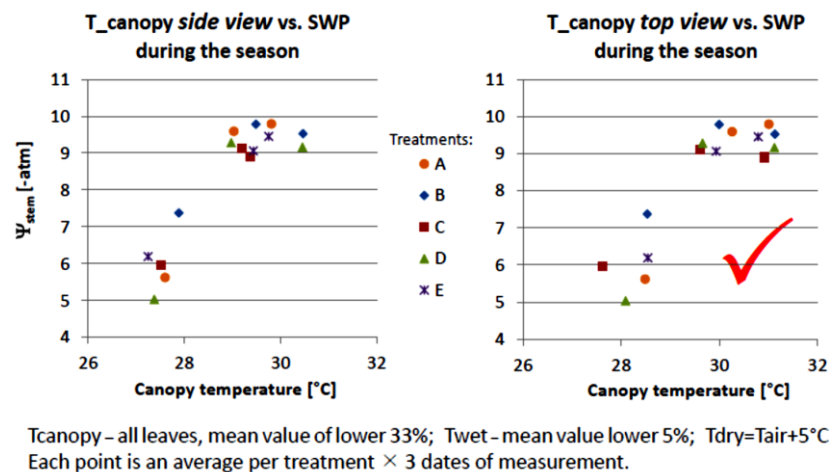
איור 7. הערכת טמפרטורת חופת הצומח מצילומים בשני מצבים, אלכסוני מלמעלה ואנכי מהצד.



בהשוואה בין שני מצבים אלו נמצא סטיות תקן גדולות במבט הצד והבדלים קטנים של 5%-15% בין כמות הפיקסלים המוארים למוצללים. במבט מהצד כמות הפיקסלים המוארים קטנה יותר ויתכן שההצללות המרובות תורמות לכך. רק בתאריך המדידה הראשון, כאשר משך שעות המדידה היה ארוך מן הדרוש סטיות התקן היו דומות יותר אך קיים הבדל ניכר ביחס שבין כמות הפיקסלים המוארים למוצללים.

בנוסף נעשתה השוואה בין שתי זוויות הצילום תוך בחינת הקשר בין המדד התרמי מהצילום עם מדד פזיולוגי הקשור במאזן המים, פוטנציאל המים בעלה. תוצאות השוואה זו מוצגות באיור 8.

איור 8. השוואה בין טמפרטורת חופת הצומח שחולצה משני סוגי הצילומים מבט על אלכסוני ומבט צד אנכי.

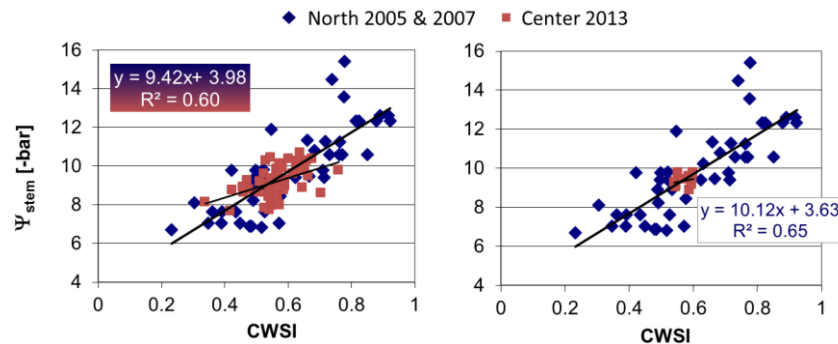


ממצאים אלו מצביעים על העדפה לצילום אלכסוני מלמעלה. השימוש בצילום אנכי מלמעלה אינו מתאפשר בכל מטע וכרם, זאת מאחר וקיימים מגבלות גובה הנובעות ממבנה במטע, גובה העצים ומיקום רשתות המונעות נזקים בייבול (לפרי).

כמו כן, הותאמה מערכת Two Cameras באופן שיאפשר צילום בתדירות גבוהה (כל 2 שניות), וקבלת פלט המכיל טמפרטורת צמחיה, נקודות GPS וערכי CWSI. בנוסף, נבנה מודל הקושר בין מדד עקת

המים לפוטנציאל המים בעלה, על בסיס תוצאות מניסויים קודמים ביראון בשנים 2005 ו-2007. נעשתה השוואה עם מדידות בשנת 2013 (איור 9).

איור 9. המתאם בין מדד תרמי מתמונה ומדד צמח פוטנציאל המים בעלה – מודל משולב מאתרים ומשנים שונות.



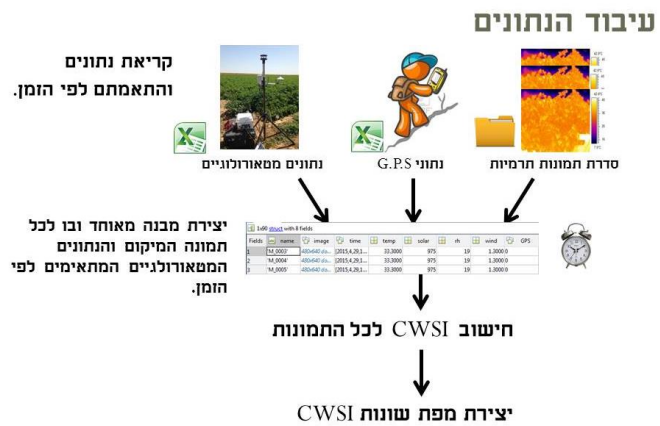
נתוני מדידות 2013 ממבוא-חורן שולבו במודל שמבוסס על נתוני 2005 ו-2007 מיראון. ערכי CWSI של נתוני מבוא-חורן המבוססים על צילום אלכסוני, חושבו באופן דומה לחישוב שנעשה עבור נתוני יראון: טמפרטורת חופת הצומח חושבה כממוצע של כל הפיקסלים שיוחסו לצמחיה (ולא רק מ%33 הנמוכים). טמפרטורת ייחוס מקסימאלית הייתה $T_{dry} = T_{air} + 5$. אך Twet בנתוני יראון מחושב מהמשטח המלאכותי בעוד שבמבוא חורן עבור המודל חושב באופן תיאורתי. התאריך הראשון לא הוכל במודל כי משך המדידה היה ארוך מן הדרוש והמדידה בוצעה בזמן שכנראה עדיין לא היה ביטוי להשפעת טיפולי ההשקיה. מודל מסוג זה יכול לשמש כמנגנון להפעלת מערכת ההשקיה, שיוטמע בהמשך במערכת המידע לניהול הגידול.

בשנה השנייה והשלישית, נעשה שימוש במערכת הצילום שפותחה במהלך השנה הראשונה, ובוצעו מספר ניסיונות שדה בארץ ובחו"ל. ניתוח הנתונים נעשה על פי הממצאים של השנה הראשונה: צילום בזווית של 45 מעלות, חישוב טמפרטורת הייחוס הנמוכה באופן סטטיסטי מהצילומים, הערכת טמפרטורת העלווה על פי הממוצע של המקטע הקר של החופה, חישוב של טמפרטורת הייחוס הגבוהה מתוך התנאים המטאורולוגיים בזמן הדגימה.

פוחת אלגוריתם לעיבוד אוטומטי של הנתונים. האלגוריתם מקבל כקלט את הסדרה של הצילומים מהמצלמה התרמית, טבלה עם התנאים המטאורולוגיים ששררו במהלך המדידות, ואת הלוג של נתוני GPS במהלך המדידות. האלגוריתם משלב את הנתונים מכל המקורות ומצמיד לכל תמונה את המיקום הגיאוגרפי (קואורדינטות גיאוגרפיות) בו היא צולמה, את הטמפרטורות של החופה, טמפרטורות הייחוס, ואת התנאים המטאורולוגיים בזמן הצילום. הפלט של האלגוריתם הוא ערך ה-CWSI של כל צילום ושכבה גיאוגרפית המהווה מפה של מצב המים. איור 10 מתאר את זרימת המידע באלגוריתם לחישוב ומיפוי אוטומטי של מצב המים בצמח.

איור 11 מראה דוגמה של מפה של מצב המים בכרם ביתר ב-27 ביולי 2014.

איור 10. תיאור זרימת המידע
באלגוריתם לחישוב ומיפוי אוטומטי של
מצב המים בצמח.



איור 11. דוגמה של מפת
מצב המים בצמח, הנוצרת
באופן אוטומטי.

מפת שונות CWSI כרם יתיר 27.07.14



ניסוי שדה (WP6)

במהלך השנה השנייה והשלישית נערכו שתי קבוצות של ניסוי שדה:

כרמים

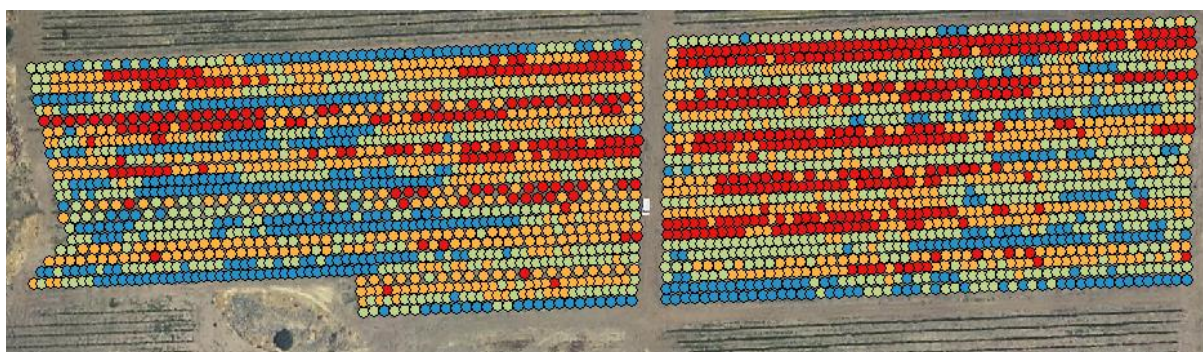
ב-2014 ו-2015 נערכו 14 ימי מדידה בשלושה אזורים גאוגרפיים שונים: באזור שלה באזור יתיר וברמת מגשימים. ברמת מגשימים המדידות נעשו בשדה מסחרי.

אזור שלה: נסרק אזור של ניסוי השקיה אשר נערך על ידי דר' ישי נצר. ימי המדידה תואמו עם צוות מדידות הקרקע, כך שבמקביל לצילומים, התקבלו נתונים על מצב הפיסיולוגי של הצמח: מוליכות פיוניות ופוטנציאל המים בגזע. המדידות נערכו ארבע פעמים במהלך עונת ההשקיה הגרעונית.

אזור יתיר: נסרק אזור של ניסוי השקיה אשר נערך על ידי דר' ישי נצר, בדומה למדידות האזור שלה. המדידות נערכו פעמיים המהלך עונת ההשקיה הגרעונית.

אזור רמת מגשימים: ב-2105 נסרק שדה מסחרי ב-4 מועדים במהלך העונה. בנוסף, נמדד היבול באמצעות בוצרת עם מוניטור יבול ונעשה מיפוי של היבול. איור 13 מראה תוצר של מיפוי מצב המים

בכרם המסחרית ברמת מגשימים באחד מארבעת המועדים שבוצעו מדידות. מערכת החישה סרקה את כל השורות של השדה, והפיקה ערך של מצב המים כל 3 מ'. מרחק זה מייצג בערך שתי גפנים. כלומר, כל עיגול מייצג שתי גפנים בשורה. ניתן לראות שקיימת שונות גדולה במצב המים בין שתי החלקות, בין החלקה המזרחית לבין החלקה המערבית. כמוכן, קיימת גם שונות במצב המים בתוך החלקה. לדוגמה, בחלקה המזרחית, החלק בדרום מזרחי שלה במצב מים טוב יותר מאשר החלק המערבי של החלקה.



איור 13: שונות של מצב המים

בשתי חלקות ברמת מגשימים.
ניכרת השונות המרחבית בתוך
החלקות, והשונות המרחבית
במצב המים בין שתי החלקות.

CWSI_33_5_

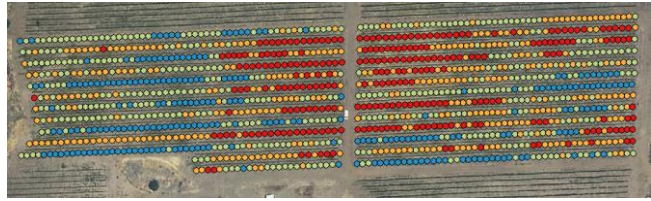
- 0.129635 - 0.429688
- 0.429689 - 0.547961
- 0.547962 - 0.667128
- 0.667129 - 0.870615

מפות דומות של מצב המים הופקו לארבעה מועדים במהלך העונה של 2015. בכל המפות ניכר ההבדל בין החלקה המזרחית לבין החלקה המערבית, והשונות בתוך החלקות. איור 14 מראה את 4 המפות שהופקו במהלך העונה.

בסוף העונה החלקות בוצרו באמצעות בוצרת המצוידת במוניטור יבול. נתונים אלה מאפשרים מיפוי של היבול, בדומה למיפוי של מצב המים. בנוסף לכך, קיימים נתונים של יבול (מפת יבול) לעונת 2014. איור 15 מראה את מפות היבול של החלקות בשתי השנים. ניתן לראות שקיימת שונות גם ברמת היבול בין שתי החלקות ובתוך החלקות.

נבדקה הקורלציה בין המפות של מצב המים בכל המועדים לבין מפת היבול של 2015, על מנת לקבוע מה המועד המשפיע ביותר על היבול. ניתוח סטטיסטי של נתונים מרחביים צפופים מאוד, כמו הנתונים של המפות הנ"ל, מחייב התחשבות באוטוקורלציה המרחבית והתחשבות בתלות הסטטיסטית בין הדגימות. לפי כך, חושב המרחק המינימאלי שעברו אין אוטוקורלציה בין הנתונים ונמצא כ-12 מ'.

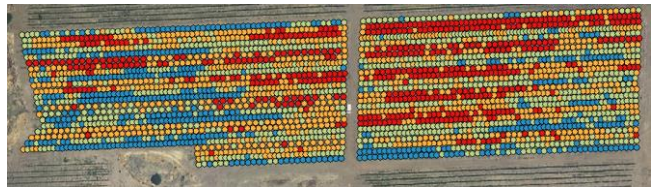
CWSI
20.7.2015



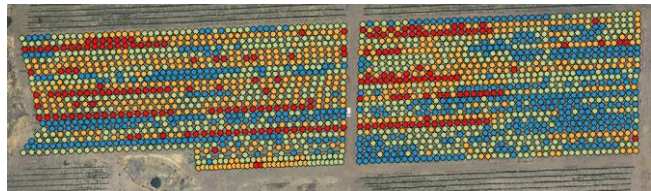
CWSI
4.8.2015



CWSI
6.9.2015



CWSI
29.9.2015



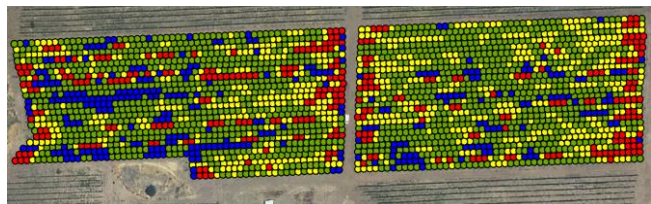
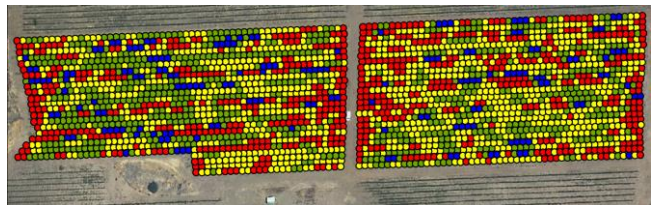
איור 14: מפות מצב המים של כרם ברמת מגשימים בארבעה מועדים במהלך העונה.

יבול (קג')
2014

- .000000 - 6.645265
- 6.645266 - 12.100151
- 12.100152 - 19.014818
- 19.014819 - 30.598918

יבול (קג')
2015

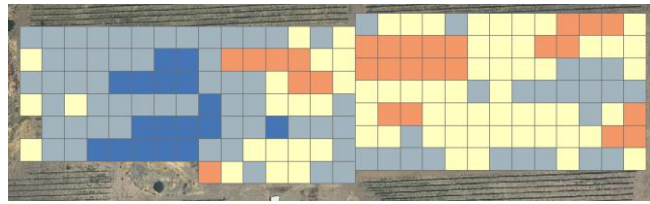
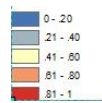
- .000000 - 6.645265
- 6.645266 - 12.100151
- 12.100152 - 19.014818
- 19.014819 - 30.598918



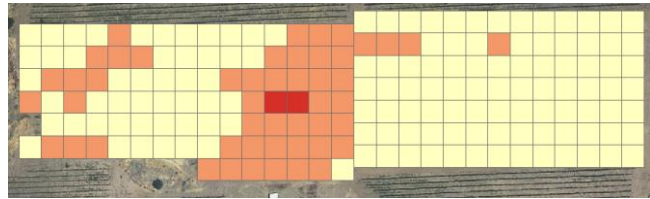
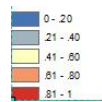
איור 15: מפות מצב המים של כרם ברמת מגשימים בארבעה מועדים במהלך העונה.

בעקבות זאת, המפות המפורטות הומרו למפות ברזולוציה של 12 מ' על 12 מ'. איור 16 מראה את המפות של מצב המים במועדים השונים והיבול, לאחר שינוי הרזולוציה המרחבית. בהמשך, בוצעה קורלציה בין ערכי ה-CWSI לבין היבול באותו שטח. איור 17 מראה את הקורלציה במועד 20.7.2015, אשר הניב את התוצאה הטובה ביותר.

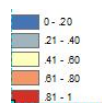
CWSI
20.7.2015



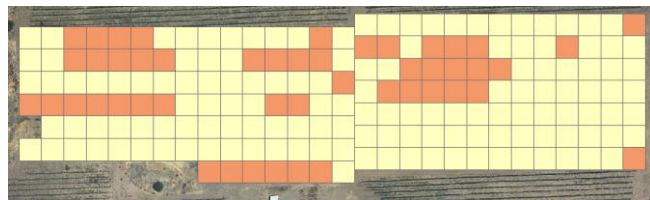
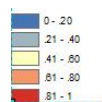
CWSI
4.8.2015



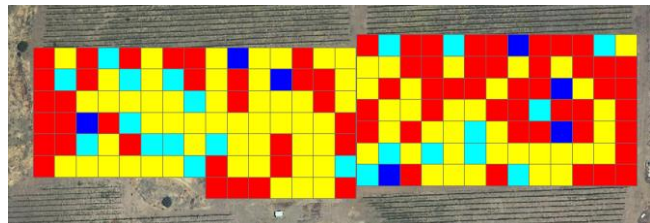
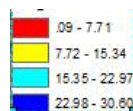
CWSI
6.9.2015



CWSI
29.9.2015

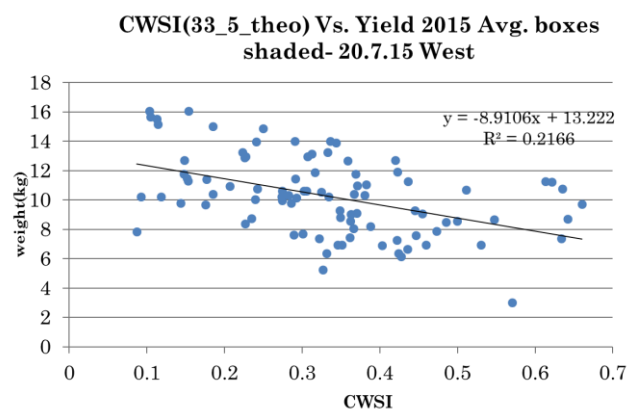


יבול (קג')
2015



איור 16: מפות מצב המים של כרם ברמת מגשימים בארבעה מועדים במהלך העונה, ומפת היבול ב-2015, ברזולוציה 12 מ' על 12 מ'

איור 17: קורלציה בין מצב המים ב-20.7.2015 לבין היבול בסוף העונה, ברזולוציה של 12 מ' על 12 מ'



תפוחי עץ

נערכו ארבע סדרות של ניסויים בשוויץ, שתיים במהלך 2014 ושתיים במהלך 2015. כל סדרת ניסויים ערכה כשבוע. המערכת של מכון וולקני הורכבה על פלטפורמה (טרקטור הנוסע באופן אוטונומי) של הקבוצה מאנגליה, והמדידות הפיסיולוגיות של הצמח בוצעו על ידי הצוות הגרמני והשווצרי.

איור 18. טבלה המפרטת

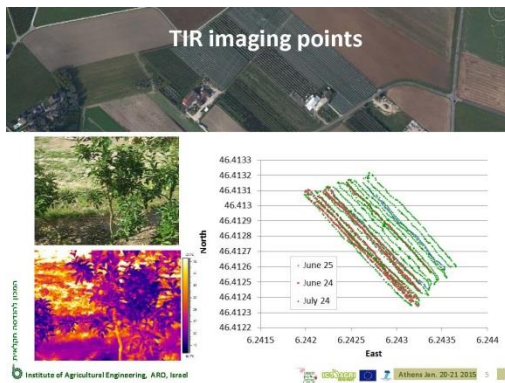
את הניסויים והמדידות במטע התפוחים בשוויץ ב-2014. מדידות דומות נעשו גם ב-2015.

	Date	Measure of	Platform	Time (Sol. Zenith at 11:40,11:45)	Device output	# of trees
1 st campaign	June 24 th	Tc & coverage	John Deer	13:27-18:59	images & GPS points	~326
		SC	Hand held	11:00-13:45	g (mmol)	9
		SWP	Hand held	12:35-14:25	pressure	12
	June 25 th	SWP	Hand held	11:00-14:05	pressure	23
	June 26 th	Tc	"Red English" (?)	12:04-13:44	images	~1365
2 nd campaign	July 23 rd	Tc & coverage	"Red English" (?)	11:--12:20	images & GPS points	~1365
		SC	Hand held	10:50-14:05	g (mmol)	7
	July 24 th	Tc & coverage	"Red English" (?)	11:10-12:20	"	~1365
		SC	Hand held	10:30-14:25	g (mmol)	9
		SWP	Hand held	12:30-15:00	pressure	21

מטע תפוחים בשוויץ חולק לאזורי השקיה שונים, לפי המפה של איור 18. חלק מהשדה הושקה לפי הפרוטוקול הרגיל של החקלאי, בחלקו הושרתה עקת מים באמצעות צמצום מנות המים באופן מכוון. לאחר המדידה, תוכנן להמשיך את ההשקיה על פי ממצאי החישה.

ממצאי המדידות הפיסיולוגיות הראו שמזג האוויר הגשום של 2014 לא אפשר יצירה של עקת מים, אפילו באזורים בהם ההשקיה צומצמה. יצר על כן, רוב ימי המדידה היו מעוננים ואפילו גשומים, כך שהמערכת של החישה התרמית לא יכלה לזהות הבדלים במצב מים. איור 19 מראה דוגמה של צילומים שבוצעו בניסוי בשוויץ וציון המסלולים בהם צולמה טמפרטורת הנוף של העצים.

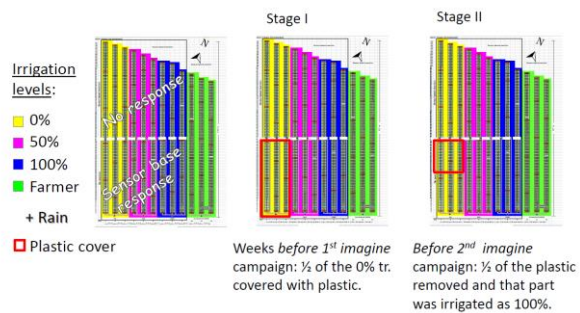
הנתונים שנאספו במהלך המדידות השוויץ הועלו על מערכת מידע גיאוגרפית והופקה מפה המתארת המצב המים הצמח (CWSI) (איור 20)



Experimental plots

2014 set-up

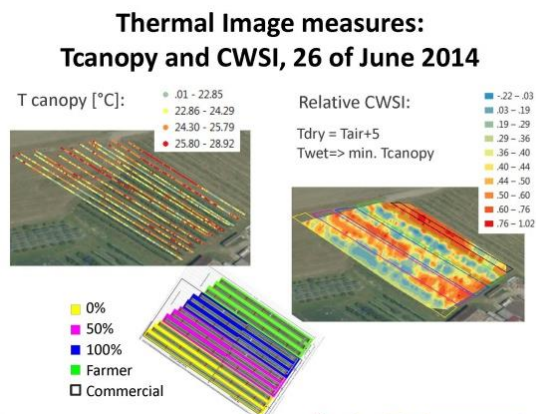
2015 set-up



איור 18: מערך הניסוי ומיקום המדידות במהלך הניסוי בשוויץ, קיץ 2014 ו-2015

איור 19: דוגמה של צילומים שבוצעו בניסוי בשוויץ וציון המסלולים בהם צולמה טמפרטורת הנוף של העצים.

איור 20: מפה המתארת המצב המים הצמח שהופקה באמצעות הנתונים שנאספו במהלך המדידות.



דין ומסקנות

בפרויקט שולבו מספר טכנולוגיות למיפוי מצב המים ורמת הבשלות של העצים על מנת לספק לחקלאים כלים לקבלת החלטות השקיה ודישון מושכלות יותר. הפרויקט שילב עבודה של 9 קבוצות מחקר באירופה אשר טיפלו במגוון רחב של נושאים: החל ממערכות חישה של הנוף הצמחי והפירות, דרך רכב אוטונומי הנושא את החיישנים ומנווט במטע, מערכת מידע מקוונת לאיסוף הנתונים והצגת התוצאות לחקלאים, וניתוח כלכלי של התועלת הצפויה ממערכת זו.

העבודה של הקבוצה הישראלית התמקדה במערכת חישה של נוף הגידול, כאשר שני גידולים שימשו כמודל: כרם ליין ותפוחי עץ. בשנה הראשונה של הפרויקט נקבעו התנאים המועדפים לביצוע החישה, כאשר בשנתיים העוקבות נעשו ניסויים נרחבים בארץ ובחו"ל לבניה והערכה של מערכת כוללת. המסקנות העיקריות של העבודה של הקבוצה הישראלית הן:

- נקבע הפרוטוקול אשר באמצעותו ניתן למפות את מצב המים בצמח כאשר החישה מתבצעת מפלטפורמה ניידת בשדה: זווית צילום של 45 מעלות טובה יותר מצילום מהצד; צילום של הצד המוצל של העלווה מביא לרעש קטן יותר במדידה אבל קשר חלש יותר עם הפרמטרים הצמחיים; החישוב התאורטי של טמפרטורות הייחוס מתאימות יותר לחישוב אינדקס עקת המים (CWSI); שילוב של נתוני אקלים רגעיים עם הליך אוטומטי סטטיסטי מאפשר חישוב ONLINE של אינדקס העקה CWSI.
- נתוני החישה הועבר למערכת מידע גיאוגרפית ייעודית לחקלאות – FMIS (Farm Management Information System), ושולבו עם שכבות מידע נוספות, אשר מקורם בחיישנים נייחים וניידים. ממשק המשתמש שפותח על ידי הקבוצה היוונית מאפשר צפייה ועיבוד הנתונים.
- ניתן להפיק מפה של מצב המים בעצים באופן כמעט מיידי עם הסריקה הקרקעית
- השילוב של ממצאים ממספר מקורות מידע מאפשר לחשב ולמפות את עקת המים, לשימוש החקלאי.

תוספות למחקרים אינטגרטיביים

שילוב התוצאות של קבוצות המחקר מקרב את המיזם לקראת מימוש יעדיו.

קבוצה ישראלית - ARO:

2.1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: פיתוח מערכת חישה למיפוי מצב המים של כרמים ותפוחי עץ.

2.2 תוצאות וממצאים: פותחה מערכת צילום תרמית קרקעית ואלגוריתמים ומיפוי ONLINE של מצב המים בכרמים ותפוחי עץ. מופו שדות ניסויים של כרמים בארץ, שדה מסחרי של כרם ליין בארץ, ושדה ניסוי של תפוחי עץ בשוויץ. פותח INTERFACE לשמירה וניתוח חצי אוטומטי של הצילומים, והזנתם למערכת מידע ייעודית לחקלאים.

2.3 מסקנות ולקחים: צילום אלכסוני מגובה של כ-3 מ' מאפשר מיפוי של מצב המים תוך כדי תנועה בין שורות הגידול. ניתן להזין את המידע למערכת מידע ייעודית לחקלאים. מזג האוויר במרכז אירופה מהווה גורם מגביל למדידות תרמיות והגשמים בחודשי הקיץ אינם מאפשרים ניסויים סדירים של השקייה.

2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: העבודה התבצעה לפי הצעת המחקר. הצילום NIR לא בוצע באמצעות מצלמה ייעודית, אך הכיסוי הצמחי הוערך מתוך צילומים ממצלמה באור הנראה.

קבוצה גרמנית – ATB:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: הערכת רמת הבשלות של תפוחי עץ במהלך העונה באמצעים ספקטראליים.
- 2.2 תוצאות וממצאים: פותחה מערכת הנצמדת לפירות ומודדת באופן רציף את התכונות האופטיות של הפרי. המערכת הותאמה לעבודה בשדה, בתנאים של אור, לחות וגשם. היא הותאמה לשידור של נתונים לשרת רחוק.
- 2.3 מסקנות ולקחים: החיישן שפותח מספק מידע על התקדמות הבשלות של הפרי באופן רציף. עדיין יש צורך בהתאמתו לתנאי שדה ולימוד האינטראקציה בינו לבין הפרי.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: העבודה התבצעה לפי הצעת המחקר. נושא השידור של הנתונים אל הפלטפורמה הניידת לא יצא לפועל. לעומת זאת הנתונים הועברו בתקשורת אל שרת מרכזי.

קבוצה גרמנית – FBH:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: פיתוח חיישן רמן נייד להערכת רמת הבשלות של תפוחי עץ במהלך העונה.
- 2.2 תוצאות וממצאים: פותחה מערכת ניידת ובוצעו ניסויים בשדות. נמצאה קורלציה טובה בין מרכיבים פנימיים של פרי לבין הקריאות האופטיות.
- 2.3 מסקנות ולקחים: הטכנולוגיה יכולה לעבוד בשדה, צריך להמשיך בפיתוח.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: העבודה התבצעה לפי הצעת המחקר.

קבוצה איטלקית – POLIMI:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: פיתוח חיישן TRS להערכת רמת הבשלות של תפוחי עץ במהלך העונה.
- 2.2 תוצאות וממצאים: פותחה מערכת ובוצעו ניסויים בשדות. נמצאה קורלציה טובה בין מרכיבים פנימיים של פרי לבין הקריאות האופטיות.
- 2.3 מסקנות ולקחים: הוכחה ההתכנות של הטכנולוגיה, צריך להמשיך בפיתוח.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: העבודה התבצעה לפי הצעת המחקר.

קבוצה יוונית – CERETETH:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: פיתוח מערכת מידע חקלאית.
- 2.2 תוצאות וממצאים: פותחה מערכת מידע הקולטת את נתוני החיישנים וממפה את התוצאות במערכת מידע גאוגרפית. הוגדרו הממשקים ופרוטוקולי התקשורת עם הרכיבים השונים. תוכנן והושם ממשק משתמש לתצוגת ושילוב הנתונים ממקורות שונים
- 2.3 מסקנות ולקחים: מערכת המידע ריכזה את נתוני השדה של כל קבוצות המחקר. יש חשיבות רבה בהגדרת יחסי הגומלין בין נתוני החיישנים לבין הממשק למשתמש.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: העבודה התבצעה לפי הצעת המחקר.

קבוצה בריטית – HAUC:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: פיתוח ויישום של פלטפורמה אוטונומית לנשיאת החיישנים וסריקת השדות.
- 2.2 תוצאות וממצאים: נבנה אב טיפוס של פלטפורמה אוטונומית, המבוססת על טרקטור מסחרי קטן. מערכות הניווט ומערכות החישה שולבו ביחד ופעולת המערכת הודגמה.
- 2.3 מסקנות ולקחים: מערכת הבקרה והשליטה של SAFARI הותאמה למשימה של סריקה אוטונומית של שדות, באמצעות חיישנים. שילוב הפלטפורמה לניסויים דרשה העברתה הפיזית ממדינה למדינה, שעולה כסף רב.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: תכנית היישום בוצעה לפי תכנית המחקר. ההשתתפות של הפלטפורמה בניסוי השדה הייתה מוגבלת בגלל אילוצים בהסעת הפלטפורמה לאתר הניסוי בשוויץ.

קבוצה תורכית - ADU:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: פיתוח ויישום של פלטפורמה אוטונומית לנשיאת החיישנים וסריקת השדות בכרמים. פיתוח מערכת חישה תלת מימדים והיפרספקטראלית.
- 2.2 תוצאות וממצאים: תוכנן רכב לנשיאת החיישנים ונסיעה אוטונומית. אב טיפוס של החלק המכאני של הרכב נבנה בסוף הפרויקט.
- 2.3 מסקנות ולקחים: הרכב האוטונומי לא הגיע למצב של עבודה במהלך הפרויקט, לכן לא בוצעו ניסויים באמצעותו. החיישנים (תלת מימד והיפרספקטראלי) לא הוצבו על המערכת הניידת ולא בוצעו מדידות.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: תכנון הרכב בוצעה לפי הצעת המחקר. היישום והמדידות לא בוצעו.

קבוצה שווצרית – HES-SO:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: ביצוע ניסוי שדה ליישום מערכות החישה הניידות ומערכות החישה הקבועות על הפירות.
- 2.2 תוצאות וממצאים: הועמדו ניסוי השקייה במהלך שתי עונות גידול של תפוחי עץ. תוכננו ובוצעו מדידות בשדה, תוכננו והופעלו מערכות השקייה ליצירת מצבי מים שונים.
- 2.3 מסקנות ולקחים: בתנאי האקלים של שוויץ, קשה ליצור מצבי מים שונים בגלל ריבוי המשקעים.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: העבודה התבצעה לפי הצעת המחקר.

קבוצה דנית – UCPH:

- 1 מטרות המחקר הספציפיות כפי שנכתבו בהצעת המחקר: הערכת הכלכליות של יישום שיטות של חקלאות מדייקת לקבלת החלטות בממשק מים.

- 2.2 תוצאות וממצאים: נאספו נתונים על עלות הפעילות של איסוף הנתונים באמצעות הטכנולוגיות שפותחו בקבוצות השונות בפרויקט. בנוסף, נעשה ניסיון לאמוד את הערך המוסף בתהליך קבלת החלטות באמצעות המערכת המוצעת.
- 2.3 מסקנות ולקחים: קשה מאוד לאמוד את הערך הכלכלי בגלל אי ודאות גדולה בחלק גדול מהגורמים המשפיעים.
- 2.4 סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית: העבודה התבצעה לפי הצעת המחקר.

סיכום עם שאלות מנחות

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה. (החלק הישראלי בפרויקט)
מטרת העבודה הייתה לממש את מערכת צילום תרמי בפלטפורמה ניידת אוטונומית, לפתח אלגוריתמים לעיבוד ולשליחת הנתונים לשרת ייעודי, של מערכת מידע חקלאית - FMIS.
2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח.
בוצעו ניסויים בכרמים באזור שלה, באזור יתיר וברמת מגשימים במהלך חודשי מאי עד ספטמבר בשנים 2013, 2014 ו-2015. כמו כן, בוצעו ניסויים בשוויץ בתפוחי עץ במהלך עונת האביב בשנים 2014 ו-2015, בשני מועדים כל שנה. נוף הגידולים צולם באמצעות מצלמה תרמית מפלטפורמה ניידת ומפלטפורמה ניידת. נבנו אלגוריתמים ותוכנה לחילוץ טמפרטורת העלווה מתוך התמונות התרמיות. נמדדו פרמטרים פיסולוגיים של הגידול כמו מוליכות פיוניות, פוטנציאל מים בגזע ועוד. חושבו מספר מדדים תרמיים המבוססים על עקרונות חישוב שונות. נבנה הקשר בין המדדים התרמיים לבין הפרמטרים הצמחיים.
1. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרת המחקר בתקופת הדו"ח.
נקבע הפרוטוקול אשר באמצעותו ניתן למפות את מצב המים בצמח כאשר החישה מתבצעת מפלטפורמה ניידת בשדה: זווית צילום של 45 מעלות טובה יותר מצילום מהצד; צילום של הצד המוצל של העלווה מביא לרעש קטן יותר במדידה אבל קשר חלש יותר עם הפרמטרים הצמחיים; החישוב התאורטי של טמפרטורות הייחוס מתאימות יותר לחישוב אינדקס עקת המים (CWSI); שילוב של נתוני אקלים רגועים עם הליך אוטומטי סטטיסטי מאפשר חישוב ONLINE של אינדקס העקה CWSI.
נתוני החישה הועברו למערכת מידע גיאוגרפית ייעודית לחקלאות - FMIS (Farm Management Information System), ושולבו עם שכבות מידע נוספות, אשר מקורם בחישובים ניחים וניידים. ממשק המשתמש שפותח על ידי הקבוצה היוונית מאפשר צפייה ועיבוד הנתונים.
כל מטרת המחקר של הקבוצה הישראלית הושגה.
2. הבעיות שנתקו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרת המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר.
הצעת המחקר כללה שני אזורים בן לאומיים לביצוע ניסוי שדה: תפוחי עץ בשוויץ וכרמים ליין בטורקיה. הניסויים והמדידות בשוויץ בוצעו כמתוכנן על ידי הצוותים, כולל הצוות הישראלי. הניסויים בתורכיה לא יצאו לפועל, ובמקום זה, הקבוצה הישראלית ביצעה מדידות נרחבות בכרמים ליין בישראל, במהלך שלוש שנות המחקר, כולל מדידות בכרם מסחרית ברמת מגשימים.
3. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: (התייחסות לקבוצה הישראלית)
הרצאה בכנס השנתי של האגודה הישראלית להנדסה חקלאית (30.4.2015)

Alon A., Alchanatis, V., Rud, R., Netser Y. 2015. Thermal remote imaging for evaluation of water condition in grapevine for irrigation needs. Poster at the 10th European Conference on Precision Agriculture, 12-16 May 2015, Rishon LeZion, Israel.

בהכנה מאמר לעיתון בין לאומי מבוקר.

4. פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)

רק בספריות <

ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) <

חסוי – לא לפרסם <