

דו"ח שנה שנייה לתכנית מחקר מספר 458-0524-10

מערכת צילום-תרמי מוטסת לניטור אוטומטי של תקלות השקיה

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר

על-ידי

יפית כהן, ויקטור אלחנתי, אשר לוי, סלבה אוסטרוובסקי, רומן בריקמן, המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי

ארנון דג, מרכז מחקר גילת, מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי

יובל כהן, המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי

משה מרון, עמוס נאור, מו"פ צפון ;

בשיתוף עם: מיכאל ספרינצין, המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי

ויצחק ציפורי, מרכז מחקר גילת, מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי

Annual Second Report for Research Project # 458-0524-10

Aerial thermal imaging for automatic detection of irrigation malfunctions

Submitted to the Chief Scientist of the Ministry of Agriculture and Rural Development

By

Yafit Cohen, Victor Alchanatis, Asher Levi, Slava Ostrovski, Roman Brikman, Agricultural Engineering Institute, ARO, Volcani Center

Arnon Dag, Gilat, ARO, Volcani Center

Yuval Cohen, Plant Science, ARO, Volcani Center

Moshe Meron, Amos Naor, Northern R&D

with: **Michael Sprintsin**, Agricultural Engineering Institute, ARO, Volcani Center

and **Isaac Zipori**, Gilat, ARO, Volcani Center

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים לא מהווים המלצות לחקלאים.

חתימת החוקר

אוגוסט, 2012

אב, התשעב'

א. תקציר

תקלות השקיה גורמות לבזבוז ישיר ועקיף של מים. החקלאים מנטרים ומתקנים את הליקויים במערכות ההשקיה באופן תדיר, אך חוץ מתצפיות מזדמנות, אין היום דרך שיטתית לזיהוי ואיתור של תקלות ההשקיה. **מטרת המחקר הכללית** הינה לפתח מערך לצילום תרמי מוטס לניטור חצי-אוטומטי של תקלות במערכת ההשקיה. בשנה א' וב' של המחקר העמדנו ניסויים מבוקרים להדמיה של תקלות השקיה בכרם לענבי מאכל ובמטע זיתים. צילומים מוטסים מעל החלקות בוצעו פעם בשנה הראשונה ובפעם בשנה השנייה. הצילומים נותחו והטמפרטורות של העצים תחת הטיפולים השונים הושוו מול ערכי פוטנציאל מים בגזע שמנדדו בימי הצילום. התוצאות העיקריות הראו כי ניתן לזהות תקלות מדומות של עודף ושל חוסר חמורים. בשנה השנייה בנוסף לניסויים המבוקרים בוצע אימות לשיטה מעל חלקות זיתים בגשור ושקדים בלבאי. האימות בוצע בצורה הבאה: לאחר הצילום, בוצע מיון לצילומים ובאמצעות ניתוח חזותי זוהו אתרים חשודים לפריצה. מכיוון שלא נמצאו אתרים המזוהים כסובלים מסתימות באופן ברור נבחרו אתרים שמויינו כסובלים מחוסר מים מסויים. האתרים שנבחרו נבדקו בשטח. במידה ונראתה פריצה גלויה (טפטפת קרועה, שלולית, ריכוז של עשבים) סווג האתר כזיהוי נכון. במידה ולא, נמדד פוטנציאל מים בגזע בעצים בהם זוהתה החריגה ובעצי ביקורת סמוך וחושב ההבדל ביניהם. במידה ונמצא הבדל מובהק הזיהוי סווג כנכון. באותה צורה נבדקו האתרים החשודים לסתימות. נמצא כי מתוך החריגות של עודף שזוהו באמצעות המערכת 76% מהם היו נכונות. לעומת זאת, לא נכרו הבדלים בין אזורים שסווגו כסובלים מחוסר מים מסויים ובין עצי הביקורת.

ב. מבוא

תקלות השקיה (פריצות או סתימות) גורמות לבזבוז ישיר (דליפה למי תהום, למשל) ועקיף (ירידה בערך היבול מניהול השקיה לקוי) של מים. החקלאים מנטרים ומתקנים את הליקויים במערכות ההשקיה באופן תדיר, אך חוץ מתצפיות מזדמנות, אין היום דרך שיטתית לזיהוי ואיתור של תקלות ההשקיה. אחת מתגובות הצמח למחסור במים היא סגירה חלקית של הפיוניות, המגבילה את איבוד המים מהצמח. השינוי בפתיחת פיוניות בין היתר מתבטא בירידה במוליכות העלים של אדי מים, מנגנון אשר בין השאר גורם להתקררות של העלים. שינויים אלה גורמים להתחממות של העלים. במקרים רבים בהשקיה אופטימלית הפיוניות אינן פתוחות במלואן ובמקרים אלו עודף מים מביא לירידה בטמפרטורות העלים. טמפרטורת העלה נמצאה במתאם עם מוליכות הפיוניות והיותה, בעקיפין, אינדיקציה על מצב המים בצמח [1; 2]. קיימות עבודות רבות המציעות דרכים (בעזרת מודלים תיאורטיים או אמפיריים יותר) להעריך את מצב עקת המים על ידי מדידת טמפרטורת הנוף [1]. חישה מרחוק מהווה אמצעי למיפוי מצב הצמח בשטחים חקלאיים נרחבים. השיטה העיקרית לחישה מרחוק של מצב המים מתבצעת באמצעות החלק התרמי של הספקטרום [3]. צילומים באמצעות מצלמות תרמיות מאפשרים מיפוי של התפרושת המרחבית של טמפרטורות הנוף ועל-כן יכולים להוות כלי באיתור תקלות השקיה. צוות החוקרים המגיש הצעה זו הראה כי ניתן להשתמש בצילומים תרמיים להערכה ולמיפוי אמינים של מצב המים בשדות כותנה [4; 5; 6], בכרמי יין [7; 8] ובכרמי זיתים [9; 10]. מחקרים אלו התמקדו במיפוי ערכי פוטנציאל מים בעלה או מוליכות פיוניות להכוונת השקיה בזמן ובמרחב.

לעומת המורכבות היחסית הן בעלות והן בעיבוד הנדרשת למיפוי ערכים מוחלטים של מצב מים להכוונת השקיה, איתור תקלות בהשקיה יכול להתבסס על הבדלים יחסיים בטמפרטורה בלבד. הבדלים יחסיים

בטמפרטורה יכולים להתקבל באמצעות מצלמות תרמיות לא-רדיומטריות. כמו-כן בגלל האופי האיכותי הנדרש באיתור תקלות הצורך בצילומים בתחום הנראה להפרדה בין קרקע ונוף של צומח איננו קריטי. [11] פיתחו שיטה סטטיסטית המבודדת טווח הטמפרטורות של הנוף בצורה מספקת ללא צורך בתמונות בתחום הנראה. איתור תקלות בהשקיה בקנה-מידה של המטע יכול בין השאר להתבצע באמצעות צילומים תרמיים מוטסים.

מטרת המחקר הכללית הינה לפתח מערך לצילום תרמי מוטס לניטור אוטומטי או חצי-אוטומטי של תקלות במערכת ההשקיה.

ג. שיטות

בשנת המחקר השנייה חזרנו על העמדת ניסויים מבוקרים המדמים תקלות השקיה וכן לאימות ראשוני של הגישה במטעים מסחריים ללא העמדת ניסויים מבוקרים.

רכישת צילומים מוטסים

בשנה זו בוצעו שש טיסות המכסות ארבעה אתרי מחקר (שלושה גידולים) (טבלה 1).

טבלה 1: סיכום צילומים תרמיים מוטסים 2011

גידול	תאריך טיסה ראשונה	תאריך טיסה שניה	אזור
גפן (ענבי מאכל)	08.06.11	19.08.11	לכיש
זית	16.06.11	28.08.11	רביבים
שקדים	27.06.11		לביא
זית	22.09.11		גשור

צילומים תרמיים מוטסים בוצעו על-ידי חברת "איקרוס" באמצעות מצלמה תרמית של חברת Jenoptik, דגם IR-TCM640, עם רזולוציה של 480X640 פיקסלים ורגישות תרמית של 0.1 מעלות צלזיוס. התוצאות של השנה הקודמת הצביעו על ירידה משמעותית בדיוק הזיהוי של חלקי מטע בודדים ובטיב הקשר בין טמפרטורת פני הצמחים לבין מצב המים שלהם עם הירידה ברזולוציה מרחבית של הצילומים התרמיים. לכן השנה הצילומים בוצעו רק מגובה של כ-1500 רגל מעל פני הים ברזולוציה מרחבית של 35 ס"מ לפיקסל בתחום התרמי. בנוסף בוצעו צילומים באור הנראה עם רזולוציה מרחבית של כ-5 ס"מ.

יצירה מכוונת של תקלות ובדיקת מצב המים בצמח

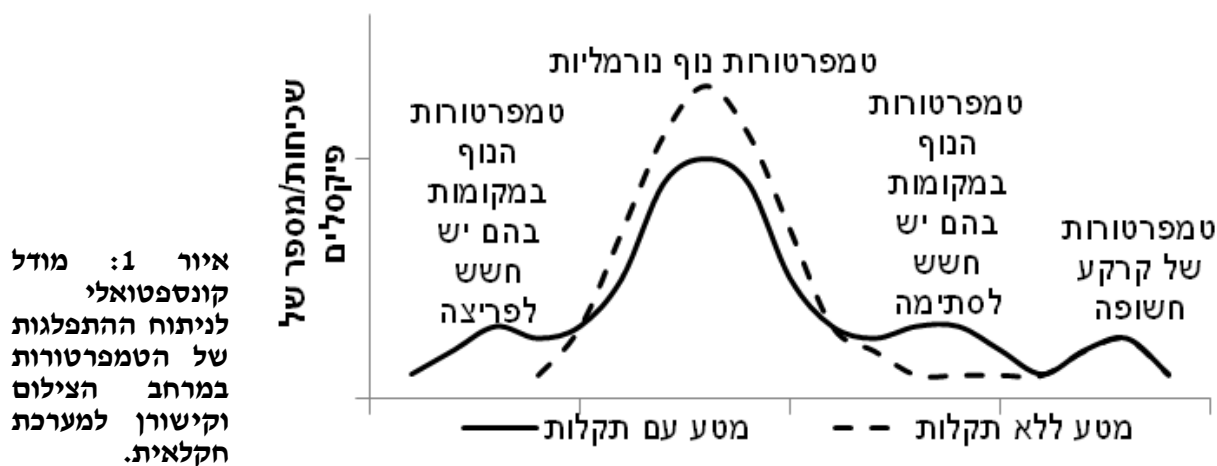
לצורך דימוי תקלות השקיה ברמות שונות באתרי לכיש ורביבים הועמדו ניסויים מבוקרים: תקלות יזומות שדימו סתימות הופעלו למשכי זמן משתנים לפני מועד הצילום התרמי לבחינת הרגישות של הצילום התרמי באיתור התקלות (טבלה 2). לעומתם הטיפול שדימה פריצה בוצע על-ידי השקיה באמצעות טפטפת נוספת בנמשך 10 ימים לפני הצילום בלכיש (ענבי מאכל) ובמשך 14 יום לפני הצילום ברביבים (זיתים) (טבלה 2). כל טיפול הועמד בשש חזרות למעט הטיפול של ההצמאה למשך 10 ימים בלכיש לו היו 2 חזרות בלבד. כל חזרה הייתה בגודל של 3 שורות באורך של 20 מטר. במקביל לצילומים המוטסים נמדד פוטנציאל מים בגזע (Stem Water Potential, SWP) של שני עצים במרכז כל חזרה.

טבלה 2: סיכום טיפולים מבוקרים

אתר וגידול	לדימוי סתימות	לדימוי פריצות
לכיש, ענבי מאכל	עצירת השקיה ל-4,6,10 ימים לפני הצילום	השקיה בטפטפת נוספת ל-10 ימים לפני הצילום
רביבים	עצירת השקיה ל-4,7,14 ימים לפני הצילום	השקיה בטפטפת נוספת ל-10 ימים לפני הצילום

מציאת הקשר בין טמפרטורת נוף ובין SWP ואיתור ומיפוי מצבי מים במטע

שורות עניין (שלוש שורות אמצעיות בכל טיפול) זוהו במרחב הצילום בעבורן חולצו ערכי טמפרטורת פני השטח. ערכים אלו הושוּו לערכי SWP רלוונטיים על מנת לבדוק את הקשר בין מצב המים של הצמח לטמפרטורה שלו. ההפרדה בין הפיקסלים המייצגים את הקרקע החשופה ואלה של הצמחייה בכלל צילום כמו גם זיהוי ומיפוי של המקומות בהם מצב המים שונה מהצפוי (חשש לתקלה אמיתית או מדומה במערכת ההשקיה) נעשתה באמצעות ניתוח כולל של התפלגות הטמפרטורות במרחב הצילום [12]. לאור העמדת הטיפולים התפלגות הטמפרטורות חולקה ל-6 קבוצות לפי החלוקה הבאה: (א) עודף מים (חשש לפריצה), (ב) מצב מים רגיל (השקיה רגילה) (ג) חוסר מים קל (חשש לסתימה למשך זמן קצר מאוד) (ד) חוסר מים בינוני (חשש לסתימה למשך זמן קצר), (ה) חוסר מים חמור (חשש לסתימה למשך זמן ארוך), ו-(ו) קרקע (איור 1). בנוסף לחלוקה זו שהותאמה לטיפולים שהוצבו בוצעה חלוקה לארבע קבוצות בלבד: עודף מים, מצב מים רגיל, חוסר מים וקרקע (ראה בהמשך). חלוקת היסטוגרמה לקבוצות התבססה על מיסוך אזורי עניין בהתאם לשונות הפנימית המינימאלית שבין ערכי הפיקסלים שקרובים זה אל זה [12]. כלומר, התהליך הינו הדרגתי ובעל ארבע שלבים. בכל שלב נבדקת השונות בין טמפרטורות של הפיקסלים הקרובים זה לזה וערך סף נקבע כערך בו השונות היא מקסימלית. הערכים נבדקים מגדול לקטן ובכל שלב רק את החלק של הטמפרטורות הנמוכות מה סף שנקבע בשלב הקודם נבדקות. הערכת טיב המיפוי נעשתה באמצעות חישוב של מטריצת בילבול. מטריצה זו נבנתה על בסיס חלוקת הטמפרטורות במרחב הצילום למצבי מים (כמתואר לעיל) וחישוב של אחוז הפיקסלים הממוינים נכון בכל קבוצת מיון בנפרד: לדוגמא חישוב אחוז הפיקסלים השייכים לעצי זית תחת הצמאה של 14 יום שסווגו כ"חוסר מים חמור". כמו כן חושב אחוז הדיוק הכללי.



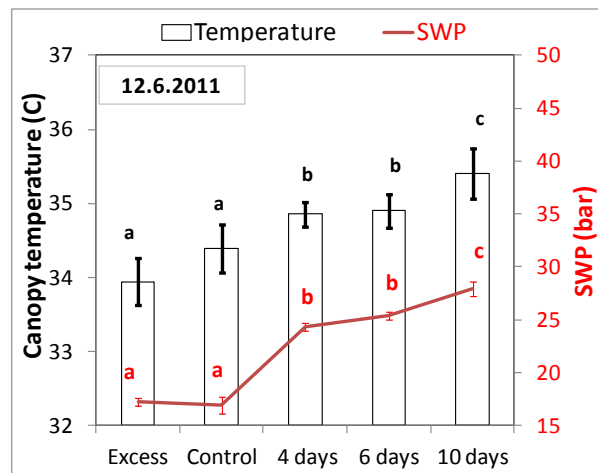
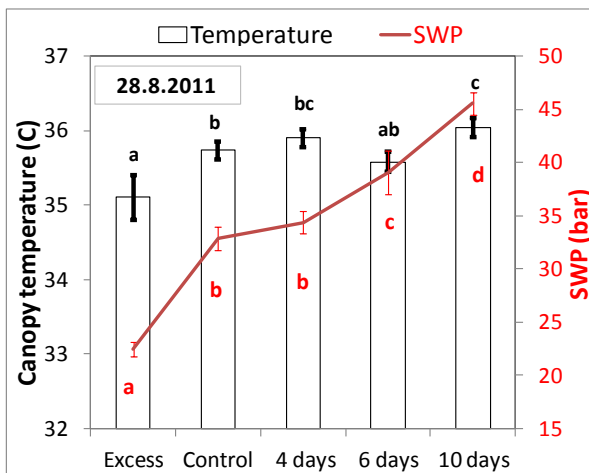
אימות ראשוני של המערכת לזיהוי תקלות אמיתיות

במקביל להצבת ניסויים מבוקרים להדמיה של תקלות השקיה נבחנה באופן ראשוני היכולת לזהות תקלות אמיתיות בשטח באמצעות הצילומים התרמיים והחלוקה הסטטיסטית לקבוצות. בחינה ראשונית זו בוצעה במטעי זיתים בגשור ושקדים בלביא. לצורך זה, הצילומים סווגו לקבוצות ולאחר הפקת מפה מסווגת סומנו חריגות שזוהו חזותית ונבדקו בשטח. נבדקו שתי קבוצות של חריגים: חשודים לפריצות בטפטפת (קרים יחסית לסביבה שלהם) או סתימות בטפטפת (חמים יחסית לסביבה שלהם). לאחר הסימון יצא צוות לשטח ובדק האם נראים סימנים ברורים בשטח לפריצה (למשל שלולית, עשביה או פריצה בטפטפת גלויה לעין) או לסתימה (טפטפת סתומה או עץ המראה סימנים ברורים של עקה). במידה וכן הדבר נרשם כזיהוי נכון במידה ולא נמדדו פוטנציאל המים בגזע הן בעץ החשוד והן בעץ קרוב אליו שסווג כמצב מים רגיל. בסופו של תהליך חושב הדיוק של הזיהוי לפריצות ולסתימות בנפרד.

ד. תוצאות

קשר בין טמפרטורת נוף ובין SWP ואיתור ומיפוי מצבי מים במטע

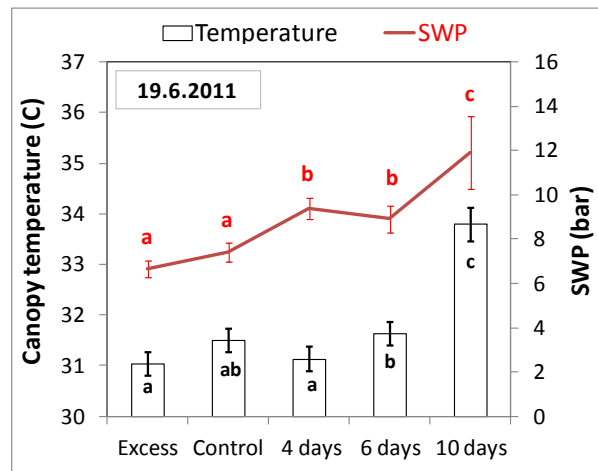
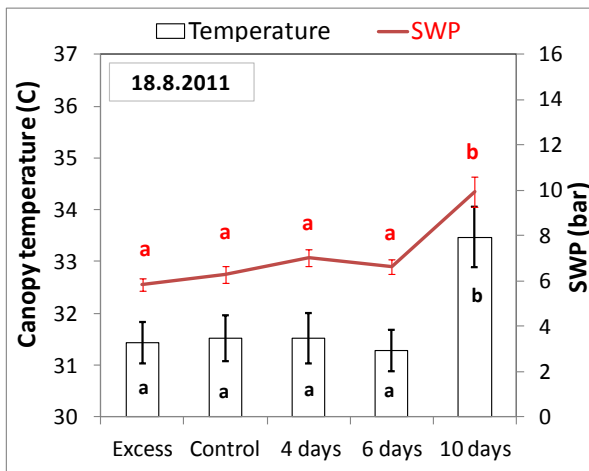
זיתים ברביבים: בשני תאריכי טיסה נמצא קשר מספק בין ערכי טמפרטורת הנוף לבין ערכי פוטנציאל המים בגזע (איור 2). לפי הקשרים שנמצאו נראה כי בשני התאריכים טיפול הביקורת (השקיה מסחרית) נבדל באופן מובהק רק מהטיפולים הקיצוניים (השקיה בעודף והצמאה למשך 14 יום) כאשר רמות השקיה בינוניות (ארבעה ושבעה ימי הצמאה) ברב המקרים ניתן לאחד לקבוצה אחת. לאור התוצאות האלה ניתן לומר כי ביוני, כאשר העצים ממשיכים עוד ליהנות מעודף מים בקרקע טיפולי הצמאה בינוניים אינם יוצרים עקה מספקת לזיהוי באמצעות הטמפרטורה. סיבה אפשרית נוספת היא מגוון המצבים בהם החלקות שמושקות מסחרית יכולות להימצא, הדבר שקשור לקרבתן בזמן למועד השקיה הבאה. חשוב לציין, כי לפי מדידות של SWP נמצאו הבדלים מובהקים בין הצמאות מ-7 ימים ויותר ובין הביקורת. כלומר, מדידות של SWP רגישות יותר מאשר טמפרטורות המופקות מצילומים תרמיים: בעוד שמדידות SWP עשויות לזהות הצמאות של 7 ימים ואילך טמפרטורות עשויות לזהות הצמאות של 14 יום ואילך. עם זאת, מדידות של SWP אינן מתאימות לאיתור תקלות ברמה מסחרית מכיוון שהן נקודתיות.



איור 2: קשר בין ערכי טמפרטורת הנוף (אשר חולצו עבור עצי מדידה בכל טיפול השקיה בנפרד) לבין ערכי פוטנציאל המים בגזע כפי שנמדדו במטע (רביבים).

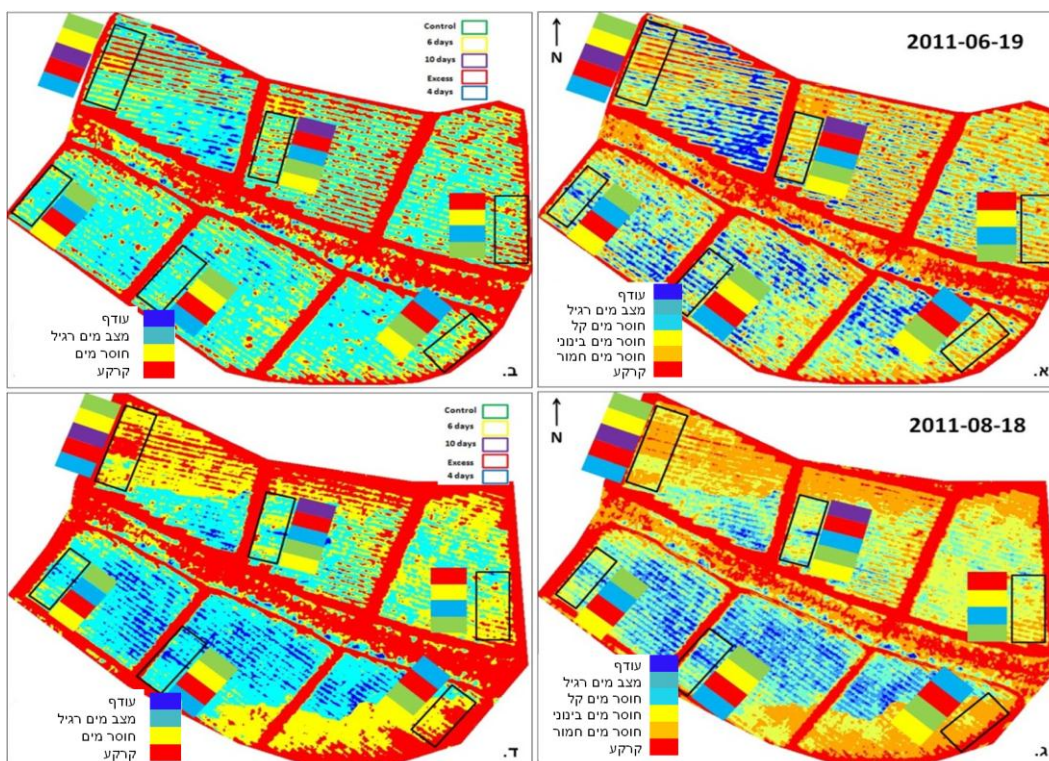
ענבי מאכל בלכיש: איור 3 מציג את הקשר בין טמפרטורת הנוף ובין מדידות SWP בענבי מאכל בלכיש. בשני המועדים רק הצמאה של 10 ימים שונה באופן מובהק מיתר הטיפולים וזאת הן על-פי טמפרטורת נוף והן על-פי ערכי SWP. תוצאות אלו שונות מן התוצאות בשנה שעברה אשר הראו כי ניתן היה להבדיל בין השקיה עודפת והצמאות של 4 ימים ויותר מההשקיה מסחרית.

התוצאות בעבור שני האזורים מצביעים על כך שברב המקרים ההפרדה הטובה ביותר אפשרית בעבור טיפולי הקצה כלומר טיפולים המדמים סתימות או פריצות לאורך זמן של לפחות 10 ימים בגפן ו-14 יום בזיתים. בהתחשב בעובדה שברב המקרים ההפרדה בין מצבי ביניים אינה אפשרית החלוקה לארבע קבוצות של טיפולים צפויה להביא לדיוקים גבוהים יותר ולהפרדה מובהקת יותר. בהתאם לחלוקה הסטטיסטית לפי קבוצות הופקו מפות של מצבי מים בכל אתר בכל מועד לפי חלוקה של 6 ו-4 קבוצות. מפות המיון של ענבי מאכל לשני המועדים לפי שתי החלוקות מוצגות באיורים 4א-ד.



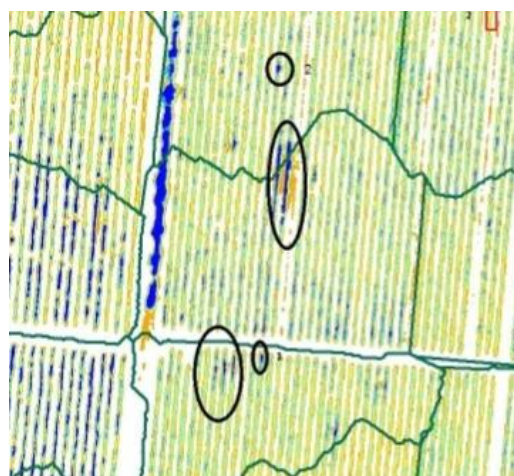
איור 3: קשר בין ערכי טמפרטורת הנוף (אשר חולצו עבור כל העצים תחת אותו טיפול) לבין ערכי פוטנציאל המים בגזע כפי שנמדדו בכרם (בלכיש).

על פי השיוך של הפיקסלים לאחת מקבוצות הטיפולים נבנתה מטריצת בלבול המתייחסת לאיכות ההפרדה והתוצאות הושוו לחלוקה המקורית. טבלאות 3א-ד מציגות את מטריצות הבלבול של המפות של לכיש משני המועדים לפי שתי החלוקות. החלוקה ל-6 קבוצות הניבה דיוקים נמוכים מאוד בשני המועדים ואילו החלוקה ל-4 קבוצות עומדת על כ-60% בשני המועדים. מנקודת מבט של החקלאי המפה שהתקבלה מספקת מידע חיוני יותר לחקלאי, מפני שעל פיה מירב השטחים מופיעים כמושקים בהשקיה מסחרית ולא תחת עקת מים בינונית כפי שניתן היה להסיק מהחלוקה ל-6 קבוצות (איורים 4א ו-ג).



איור 4: מיפוי מצב מים בכרם ענבי המאכל בלכיש ב-19.6.2011 בחלוקה ל-6 קבוצות (א) ול-4 קבוצות (ב) וב-18.8.2011 בחלוקה ל-6 קבוצות (ג) ול-4 קבוצות (ד)

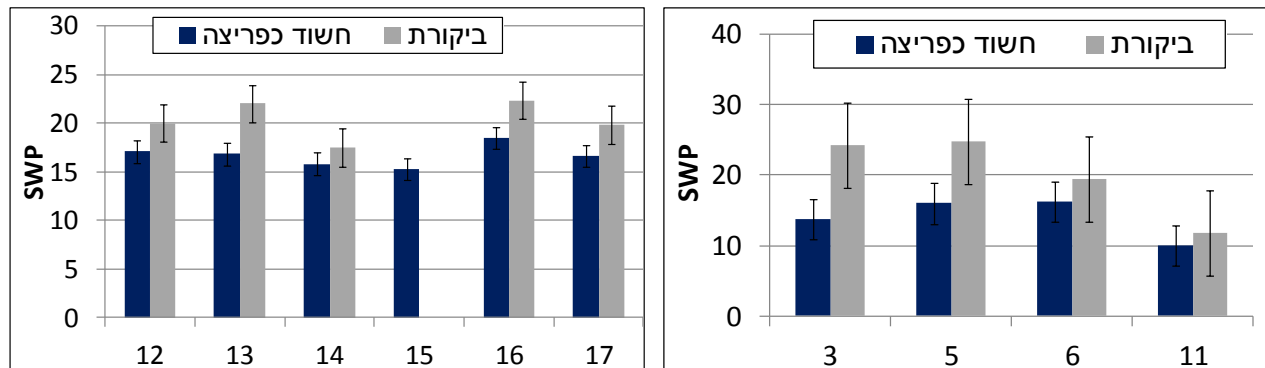
אימות ראשוני של המערכת לזיהוי תקלות אמיתיות
 על גבי המפות המסווגת סומנו 27 אתרים שזוהו בעלי טמפרטורה נמוכה באופן חריג וחשודים כפריצות בטפטפת (10 בזיתים בגשור ו-17 בשקדים בלביא). איור 5 מציג דוגמא לסימון אתרים חריגים בגשור. בנוסף, סומנו 9 אתרים בעלי טמפרטורה גבוהה יותר מהסביבה וחשודים כסתימות (8 בזיתים בגשור ו-1 בשקדים בלביא). יש לציין כי לעומת הזיהוי הברור של אתרים קרים במיוחד לא זוהו אתרים בעלי טמפרטורה גבוהה במיוחד כך שמדובר בחשד לסתימות קלות יחסית. מתוך 27 אתרים שאותרו כחשודים לפריצות 15 זוהו בשטח כפריצות גלויות לעין. בנוסף, בחמישה נוספים בהם נבדק פוטנציאל המים בגזע התגלו הבדלים מובהקים (איור 6) המעידים על כך שהעצים



איור 5: סימון עצים חשודים לפריצות בטפטפת (גשור)

באתרים הללו נהנים מעודף מים (ויש לבדוק את הסיבה לכך - פריצה חבויה בטפטוף טמון או סיבה אחרת) באתר אחד מדובר היה בהשפעה של עץ חסר הגורם בעקיפין לסביבה שלו להינות מעודף מים ואילו 6 אתרים נוספים נותרו ללא הסבר. מתוך הנתונים הללו ניתן לומר כי למערכת אמיונות ברמה סבירה (סובלת מ-26% הערכת יתר - 6 אתרים שלא ניתן להם הסבר ומקרה אחד של סמיכות לעץ חסר). מצד שני במהלך הסריקה

הקרקעית לא נמצאו פריצות גלויות נוספות מה שיכול להעיד על דיוק פוטנציאלי של 100% (קרי כל הפריצות שזוהו בשטח זוהו על-ידי המערכת).



איור 6: השוואה בין פוטנציאל מים בגזע (SWP) בין עצים באתר שזוהו בחשוד לפריצה ובין עץ סמוך במצב מים רגיל (ביקורת). מימין: זיתים בגשור משמאל שקדים בלבניא. כל האתרים כאן מתייחסים לאתרים בהם לא נמצאה פריצה גלויה לעין. אתר 3 בגשור ואתרים 12, 13, 16 ו-17 בלבניא הראו הבדל משמעותי בין עצים חשודים ועצי ביקורת

לעומת ההצלחה בזיהוי פריצות, לא נמצאו הבדלים מובהקים בין עצים שסווגו כסובלים מחוסר מים ובין אלו שסווגו במצב מים רגיל (ביקורת). מנתונים אלו עולה כי המערכת במצבה הנוכחי מאפשרת זיהוי אמין של פריצות אך איננה מסוגלת לזהות סתימות.

ה. מסקנות והשלכותיהן על המשך ביצוע המחקר

המסקנה העיקרית היא שמערכת צילום תרמי מוטסת מאפשרת גילוי של פריצות גלויות וגילוי מוקדם של פריצות חבויות (למשל במטעים עם טפטוף טמון). עוד לא הצלחנו להוכיח כי היא מאפשרת גילוי של סתימות. נראה כי לאחר שלב האימות האינטנסיבי שכבר החל ניתן יהיה לעבור לשלב המסחרי. **בניתוח ראשוני שלא הוצג כאן אך הוצג ביום העיון נראה כי ניתן לחסוך לפחות 80% מהזמן מכיוון שאין צורך לעבור בכל המטע וגם ניתן לנסוע במהירות הרבה יותר גבוהה אל האתרים המועדים.** המטרה העיקרית של השלב הבא היא לתת הערכה כלכלית מה היתרון של הצילום האווירי מול הגישה המקובלת (כלומר, הקרקעית) מבחינת חיסכון בזמן ובכוח אדם המושקעים באיתור תקלות במרחב המטע. כל זאת על-ידי (א) סיור טרום טיסה רגלי בשטח שיתעד את כל החריגים הנראים לעין ו-(ב) בניית בסיס נתונים אשר יאפשר לפתח מדדי דיוק ואמינות. בסיס הנתונים יכלול אזורים חשודים לתקלות אשר אותרו באמצעות הניתוח החזותי והסטטיסטי של הצילומים התרמיים מול תיאור מתוך הצילום בתחום הנראה (כמו עשבים, גודל נוף, עצים שכנים חסרים, עצים חסרים). בשלב האימות (השלב שלאחר טיסה) באותם אזורים בהם יש חשד לתקלה ימדדו מדדי צומח כדי לבחון את אמינות המערכת.

רשימה ביבליוגרפית

- [1] Fuchs, M., Y. Cohen, and S. Moreshet. 1987. Determining transpiration from meteorological data and crop characteristics for irrigation management. *Irrigation Science*, 8:91-99.
- [2] Evett, S. R., T. A. Howell, A. D. Schneider, D. R. Upchurch and D. F. Wanjura (1996). Canopy temperature based automatic irrigation control: C.R. Camp, E.J. Sadler and R. E. Yoder (eds) *Evaporation and irrigation scheduling*, Proceedings of the international conference, San Antonio, Texas. pp. 207-213.

- [3] Jones, H. G. and Leinonen, I. 2003. Thermal Imaging for study of plant water relations. *Journal of Agricultural Meteorology*, 59(3): 205-217.
- [4] Cohen, Y., Alchanatis, V., Meron, M. and Saranga, Y. 2005. Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. *International Journal of Experimental Botany*, 56: (417), 1843-1852.
- [5] Sela, E., Y. Cohen, V. Alchanatis, Y. Saranga, S. Cohen, M. Möller, M. Meron, A. Bosak, J. Tsipris and V. Orolov. 2007. Thermal imaging for estimating and mapping crop water stress in cotton. In: J. V. Stafford (ed.), *European Conference in Precision Agriculture 2007*, Skiathos, Greece. Wageningen Acad. Publ. The Netherlands. Pages: 365-371.
- [6] Alchanatis V., Cohen Y., Cohen S., Moller M., Sprinstin M., Meron M., Tsipris J., Saranga Y., and Sela E. 2009. Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging. *Precision Agriculture*, 11:27-41.
- [7] Möller M., Alchanatis V., Cohen Y., Meron M., Tsipris J., Naor A., Ostrovsky V., Sprintsin M. and Cohen S. 2007. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 58(4):827-838.
- [8] אלחנתי, ו. וכהן, י. 2009. צילומים תרמיים ליעול ההשקיה בגפן. *ניר ותלם, גיליון יולי 2009*, 17 : 42-44.
- [9] בן-גל, א., אגם, נ., אלחנתי, ו., כהן, י., ירמיהו, א., ציפורי, י., פרסנוב, י., ודג, א. 2008. ניטור עקת מים במטע זיתים: ייתכנות השימוש בצילומים תרמיים. *עלון הנוטע, גיליון אוגוסט-ספטמבר, 2009*, 62 : 28-32.
- [10] Ben-Gal A., Agam N., Alchanatis V., Cohen Y., Yermiyahu U., Zipori I., Presnov E., Sprintsin M., and Dag A. 2009. Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil water status, tree water status, and thermal imagery. *Irrigation Science*, 27:367-376.
- [11] Meron M., Alchanatis, V., Cohen Y., and Tsipris J. 2009. Canopy temperature interpretation of thermal imagery for crop water stress determination. In: E.J. van Henten, D. Goense and C. Lokhorst (eds.), *European Conference in Precision Agriculture 2009*, Wageningen, Netherland. Wageningen Acad. Publ. The Netherlands. Pages: 63-70.
- [12] Otsu, N., (1979). Threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 9, 62-66.