

## הערכת יעילות השקיה באמצעות צילומים תרמיים ברמה חצי מסחרית

מחקר מספר 458-0609-14

מוגש למועצת הכותנה

יפית כהן<sup>1</sup>, ויקטור אלחנטי<sup>1</sup>, שי מיטל<sup>2</sup>, אריה בוסק<sup>3</sup> ויהושע סרנגה<sup>4</sup>, בשיתוף עם אורי רוזנברג<sup>1,4</sup>  
<sup>1</sup>המכון להנדסה חקלאית, מרכז וולקני; <sup>2</sup>חברת אגם; מגדלי דרום יהודה<sup>1</sup>; מדעי הצמח, הפקולטה לחקלאות<sup>4</sup>

### תקציר

גידול כותנה דורש השקיה בכמות מים גדולה על מנת להשיג יבול גבוה. כיום, השיטה הטובה ביותר להכוונת השקיה במהלך שלב מילוי ההלקטים מבוססת על מדידות פוטנציאל מים בעלה (פמ"ע) של מספר צמחים בודדים בכל חלקה באמצעות תא לחץ. בשל המורכבות בביצוע מדידות אלו, חקלאים רבים נמנעים מהן וקובעים את כמויות ההשקיה בהתאם ללוחות ההשקיה והתנאים המטאורולוגיים בלבד. בשלבים הקודמים של המחקר בנושא של צילומים תרמיים להערכת מצב מים בכותנה, פותח מודל רגרסיה רב-שנתי בין מדד העקה התרמית (CWSI) לבין פוטנציאל המים בעלה (פמ"ע) לשלב מילוי ההלקטים בכותנה תוך שימוש בצילומים תרמיים והוכחה היכולת למפות פמ"ע ברמת השדה באמצעות צילומים אוויריים. בנוסף, הוכחה האפשרות להשקות באמצעות שיטה זו ברמה של חלקות ניסוי. בשנה זו המטרה היתה לבחון את היכולת להשקות שדות כותנה באמצעות מערכת חישה תרמית שהורכבה על גבי רכב. שיטות: בוצעו סריקות שבועיות בשני שדות כותנה בתקופת מילוי ההלקטים. לשם הערכת היכולת להשקות על-פי פמ"ע מחושב מהצילומים התרמיים שהופקו באמצעות המערכת הקרקעית חולקו שני השדות כך שטאקט השקיה אחד הושקה על-פי מדידות ישירות של פמ"ע והשני כל-פי פמ"ע מחושב. בנוסף סריקות נעשו בשדות נוספים על מנת שניתן יהיה לבחון את ההספק של המערכת ולהעריך את הכלכליות שלה. תוצאות: השוואה בין כמויות ההשקיה בין שני הטאקטים הצביעה על הבדלים מזעריים. תוצאה זו מצביעה על כך שצילומים תרמיים יכולים לסייע בניהול ההשקיה באופן הדומה למדידות ישירות של פמ"ע. לצילומים יצרון בכך שהם ממפים בצורה מסוימת גם את השונות הקיימת בשדה ובכך לייעל עוד יותר את קבלת ההחלטות. ההספקים של המערכת הינם בממוצע 900 דונם מה שמוביל לעלות של 5 ₪ לדונם ליום צילומים או 20-25 ₪ לעונה. זוהי עלות גבוהה מאוד ועל יש למצוא דרך להגדיל את ההספקים.

### מבוא

גידול כותנה דורש השקיה בכמות מים גדולה על מנת להשיג יבול גבוה. כיום, השיטה הטובה ביותר להכוונת השקיה במהלך שלב מילוי ההלקטים מבוססת על מדידות פוטנציאל מים בעלה של מספר צמחים בודדים בכל חלקה בעזרת תא לחץ. בשל המורכבות בביצוע מדידות אלו, חקלאים רבים נמנעים מהן וקובעים את כמויות ההשקיה בהתאם ללוחות ההשקיה והתנאים המטאורולוגיים בלבד. לטכנולוגיות חישה מרחוק תרמית ישנו פוטנציאל להוות כלי לניטור ומיפוי של מצב המים במספר גידולי שדה ומטעים (Alchanatis *et al.*, 2010; Gonzalez-Dugo *et al.*, 2013). במחקרים שונים נמצא כי מדד העקה התרמית (CWSI) המבוסס על מדידת טמפרטורות על ידי טרמומטרים מהווה מדד מתאים לתזמון השקיה (Reginato and Howe, 1985; Erdem *et al.*, 2005) למרות זאת, השימוש בטרמומטרים במספר נקודות בשדה אינו מתייחס לשונות

המרחבית במצב המים של הצמח אלא מאפשר מידע נקודתי בלבד. בהשוואה לכך, צילומים תרמיים ממטוס או מכטב"מ מאפשרים זיהוי של השונות המרחבית במצב המים של הצמח בשדות ובמטעים (Sullivan et al., 2013; Gonzalez-Dugo et al., 2007). ומאפשרים השקיה משתנה במרחב תוך שימוש בגישות של חקלאות מדייקת.

בשלב הראשון של מחקר זה, פותח מודל רגרסיה רב-שנתי בין מדד העקה התרמית (CWSI) לבין פוטנציאל המים בעלה (פמ"ע) לשלב מילוי ההלקטים בכותנה תוך שימוש בצילומים תרמיים קרקעיים (Cohen et al., 2014). מדד ה-CWSI חושב בהתבסס על רפרנס משטח היחוס המלאכותי (AWRS) כערך סף תחתון (Twet) ו- $T_{air} + 5^{\circ}C$  שימשה כערך סף תחתון (Tdry). בהתאם לכך, נבחנו מספר שיטות ואמצעים לקביעת ה-Twet בהתאם למספר מחקרים שנערכו לאחרונה שעשויים להתאים ליישום מסחרי תוך שימוש בצילום מוטס. השיטה שנמצאה כטובה ביותר הינה הרפרנס הסטטיסטי (טבעי) המבוסס על ממוצע הטמפרטורה של 5% הפיקסלים בעלי הטמפרטורה הנמוכה ביותר מתוך כלל הפיקסלים של העלווה בצילום התרמי. השימוש ברפרנס זה למיפוי פמ"ע תוך שימוש בצילום תרמי מוטס סיפק את ההערכה המדויקת ביותר של פמ"ע ואינו דורש הכנות מיוחדות מהחקלאי. למרות היתרון הבולט שיש לצילומים מוטסים, קיימות מגבלות טכניות וכלכליות.

גישה נוספת של חקלאות מדייקת מבוססת על חישה רציפה בזמן אמת של השונות המרחבית בקרקע ומאפייני הצמח תוך שימוש בחיישנים המורכבים על גבי רכבי שטח. במחקר זה, נעשה שימוש במערכת חישה רציפה בזמן אמת שהורכבה על גבי רכב. בנוסף, נבחנה בקרת ההשקיה בקנה מידה חצי מסחרי בהתבסס על מערכת חישה זו.

## שיטות

**ניסויים חצי-מסחריים:** נערכו ניסויי שדה בקנה מידה מסחרי (1000~ דונם) בקיץ 2014 בקיבוץ רבדים. שדות הכותנה נזרעו בכותנה מזן "פימה" (שדות 1,4,18 ו-34) ואקלפי (שדה 62). השדות הושקו בטפטוף כאשר שולחת טפטוף אחת מוצבת בין כל שתי שורות. כלל השדות גדלו בתנאים זהים החל מהזריעה ועד לשלב הפריחה. החל משלב מילוי ההלקטים, יושמו שתי שיטות השקיה בשדות 4 ו-62: (1) ניהול השקיה מסחרי המבוסס על בין 4-6 מדידות ישירות של פוטנציאל מים בעלה הנערכות פעם בשבוע במיקום אחד בכל שדה ומסומן כ-'Comm\_Irrig'. (2) ניהול השקיה המבוסס על ערכי פוטנציאל מים בעלה המחושבים מצילומים תרמיים הנערכים פעם בשבוע ומסומן כ-'TIR\_Irrig'. שדות 4 ו-62 חולקו לשתי יחידות השקיה כאשר טאקט אחד הושקה ע"פ שיטת ה-'Comm\_Irrig' ואילו הטאקט השני הושקה ע"פ 'TIR\_Irrig'.

**צילומים:** הצילומים התרמיים נערכו בעזרת מצלמה תרמית (SC-655, FLIR systems, Oregon, USA) שהורכבה על גבי תורן טלסקופי בגובה 3.5 מ' שחובר לרכב. המצלמה הורכבה בוויית של  $45^{\circ}$  מהאופק (איור 1). למצלמה רזולוציה מרחבית של 640x480 פיקסלים, טווח ספקטרלי של  $7.5 - 13\mu m$ , דיוק מדידה ורגישות של  $\pm 2\%$  ו- $0.05^{\circ}C$ , בהתאמה. המצלמה צוידה בעדשה רחבה (זווית ראייה של  $45^{\circ}$ ). ההתאמות האופטיות והגאומטריות אפשרו את המדידה של השורות ה-3 וה-4 משביל הנסיעה. המצלמה חוברת למחשב ונשלטה מרחוק בעזרת תוכנה המאפשרת צילום אוטומטי במהלך הנסיעה. הרכב נסע בשביל בדרך שהוקצתה לו במיוחד במרכז השדה (איור 1).



איור 1: מערכת צילום תרמי קרקעית. המצלמה התרמית מורכבת בראש התורן הטלסקופי בגובה 3.5 מ'.

בכל יום צילומים, הרכב נסע פעמיים לאורך השביל (לשני הכיוונים, בד"כ לצפון ולדרום) על מנת לצלם משתי זוויות בחס לשמש. בכל שתי שניות התבצע צילום באופן אוטומטי כך שבין 11:30 – 15:00 צולמו מאות צילומים בכל טאקט השקיה. בנוסף, הותקן על גבי הרכב GPS על מנת שלכל צילום תוצמדה קואורדינטות. הצילומים נערכו ב-7 תאריכים בעונת 2014, בשלב הפנולוגי של מילוי ההלקטים. פרטים לגבי ביצוע הצילומים מפורטים בטבלה 1.

**מדד העקה התרמי (CWSI):** מדד העקה התרמית מוגדר על פי הנוסחה הבאה (Jackson *et al.*, 1981):

$$CWSI = \frac{T_I - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}} \quad (1)$$

כאשר  $T_I$  הינו טמפרטורת העלה או העלווה,  $T_{wet}$  ו-  $T_{dry}$  הינם בהתאמה טמפרטורות המינימום והמקסימום. במאמר זה  $T_{dry}$  חושב על פי הנוסחה האמפירית  $T_{air} + 5^\circ C$  (Cohen *et al.*, 2014).  $T_{wet}$  חושב כממוצע הטמפרטורה של 5% הפיקסלים בעלי הטמפרטורה הנמוכה ביותר מתוך כלל הפיקסלים של העלווה בכל הצילומים התרמיים. כאמור גישה זו נמצאה על ידי מספר מחקרים כשיטה חלופית לחישוב ה-  $T_{wet}$  בניתוח צילומים תרמיים מוטסים (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2013; Rud *et al.*, 2014) ובנוסף היא השיטה הטובה ביותר לשימוש מסחרי מכיוון שהיא לא דורשת מהחקלאי הכנה מיוחדת.

**טבלה 1: סיכום ימי הצילום**

תאריך	שדות	שטח* (דונם)	תקלות/הערות
17/07/2014	4,18,34,62	835	-
24/07/2014	4,18,34,62	835	-
31/07/2014	4,18,34,62	835	בחלק מהשדות הצילומים יצאו מפוקוס
07/08/2014	1,4,18,34,62	1065	שדה 4 הושקה במהלך יום הצילום
14/08/2014	34,62	420	(1) תקלה ברכב במהלך יום הצילומים. (2) שדה 62 הושקה יום לפני ביצוע הצילומים.
21/08/2014	1,4,18,34,62	1065	-
28/08/2014	4	220	סיום ההשקיה בכל שאר השדות.

\*שטח שיוצג על פי הצילומים

**עיבוד הצילומים התרמיים:** לחישוב פוטנציאל המים בעלה מתוך צילומים תרמיים נדרשו שלושה שלבים. ראשית, טמפרטורת העלווה הממוצעת חושבה לכל טאקט השקיה בכל שדה. לשם כך, בוצעה הפרדה בין צמחיה לקרקע לפי...:

$$T_{air} - 10^{\circ}C < T_I < T_{air} + 7^{\circ}C \quad (2)$$

כאשר  $T_I$  הינה ממוצע טמפרטורת העלווה ו- $T_{air}$  הינה טמפרטורת האוויר שנמדדה בזמן הצילום התרמי. ממוצע ה- $T_I$  בכל הצילומים בתוך טאקט השקיה שימשו לעיבוד לאחר מכן. בשלב השני, חושב מדד העקה התרמי (משוואה 1) ולבסוף, חושב פוטנציאל המים בעלה באמצעות המודל הליניארי המקשר בין CWSI ל- פמ"ע (Cohen et al., 2014):

$$LWP = -1.76CWSI - 1.27 \quad (3)$$

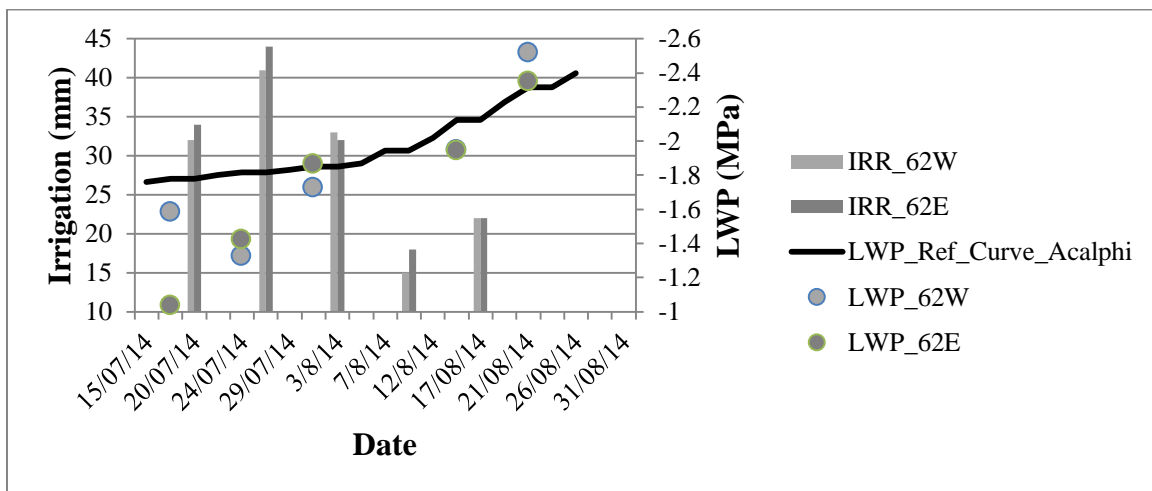
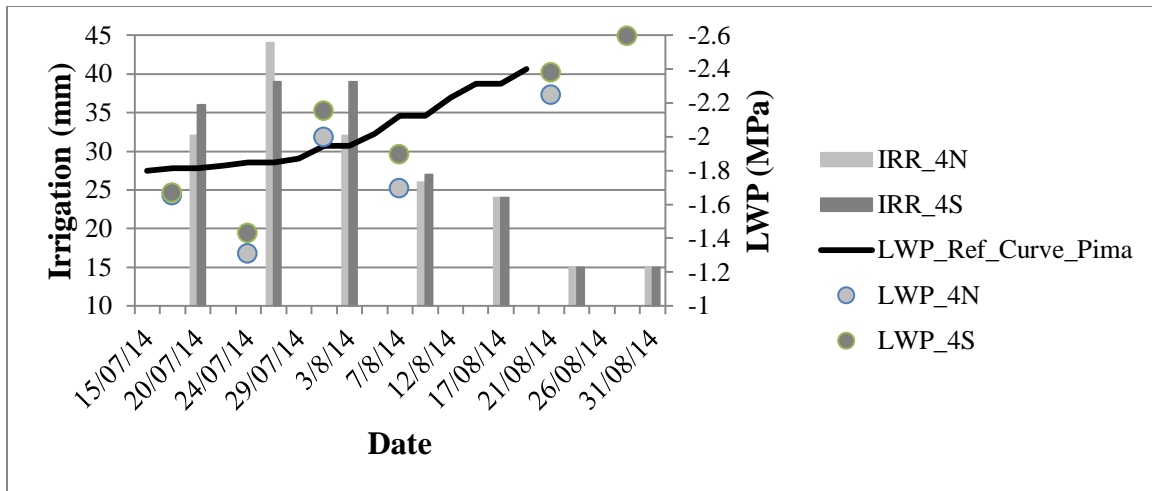
**בקרת השקיה:** מפת LWP לכל טאקט פורסמה לחקלאי יום לאחר ביצוע הצילום התרמי תוך שימוש בתוכנת ArcGIS online בענן (<http://bit.ly/1yMWPk9>). מפה זו, שימשה לקבלת החלטות בניהול ההשקיה. שני טאקטים שונים בשני שדות שונים (4 ו-62) הושקו בהתאם לפוטנציאל המים בעלה שחושב על ידי הצילום התרמי ('TIR\_Irrig') וטאקט ההשקיה השני הושקו בהתאם למדידות ישירות של פוטנציאל המים בעלה שנמדדו על ידי החקלאי ('Comm\_Irrig'). בשתי שיטות ההשקיה, התבצעה קבלת החלטות בהתאם לעקומת פוטנציאל המים בעלה המומלצת ומוצגת באיור 2 (מועצת הכותנה הישראלית).

**בחינת השפעת זווית הצילום על הערכת פוטנציאל המים בעלה:** במחקר זה, הצילומים נערכו משתי זוויות צילום (בד"כ לצפון ולדרום). הנסיעה לשני הכיוונים נערכה בגלל ההשפעה הידועה של זווית השמש על מדידת הטמפרטורה (Prashar and Jones, 2014). הנסיעה בשני הכיוונים אורכת זמן רב, וכך פוחת השטח שצולם ועלות הצילום ליחידת שטח עולה. מספר מאמרים מראים שניתן לחזות את הפמ"ע בכותנה בצילום תרמי אלכסוני מכיוון אחד ( $0.78 < R^2 < 0.86$ ) (Alchanatis et al., 2010; Cohen et al., 2014). במטרה להגדיל את שטח הכיסוי, נבחנה האפשרות לערוך את הצילומים הקרקעיים מרכב מכיוון אחד. לצורך כך, ערכי פמ"ע המחושבים מכיוון אחד הושוואו לאלו מהכיוון השני. ובנוסף, ערכים אלו הושוואו למדידות הישירות שנערכו על ידי החקלאי.

## **תוצאות**

**השוואה בין טאקטים:** איור 2 מציג את עקומת פוטנציאל המים המומלצת, פוטנציאל המים המחושב ואת כמויות המים שהושקו בכל אחד מארבעת הטאקטים לכל אורך התקופה הרלוונטית. עקומת פוטנציאל המים המומלצת מייצגת ערכים מומלצים במהלך תקופת ההשקיה כפי שפורסמו על ידי מועצת הכותנה הישראלית. כאשר ערכי פוטנציאל המים חרגו מהערכים המומלצים, כמויות ההשקיה שונו בהתאמה. בתחילת העונה, פוטנציאל המים המחושב היה נמוך ולאחר מכן ולאורך כל העונה, הערכים המחושבים עקבו אחר עקומת ההמלצות. השוואת ההשקיה המצטברת בין הטאקטים החל משלב מילוי ההלקטים ועד לשילוך בשדות 4 ו-62 מראה שאין הבדלים בכמויות ההשקיה הכוללות. עד ל- 20/07/2014, במהלך שלב הגידול הווגטטיבי והפריחה, כל שדה קיבל כמויות מים שוות (~280 mm). החל מה- 20/07/2014, בשלב מילוי ההלקטים, ההשקיה פוצלה בין הטאקטים בכל שדה וניתן לזהות הבדלים מסוימים בין השדות עד לסיום העונה. ההבדל בכמויות ההשקיה בין שתי השיטות היה מזערי בשני השדות (~10 mm). תוצאות אלו מראות שניטור פמ"ע

בגידול כותנה באמצעות צילומים תרמיים יכול לתמוך בניהול ההשקיה במידה שווה למדידות ישירות של פמ"ע. לפמ"ע מחושב באמצעות צילומים תרמיים יתרון בכך שהוא מספק גם מידע על השונות המרחבית. נקודה זו מורחבת בקטע הבא.



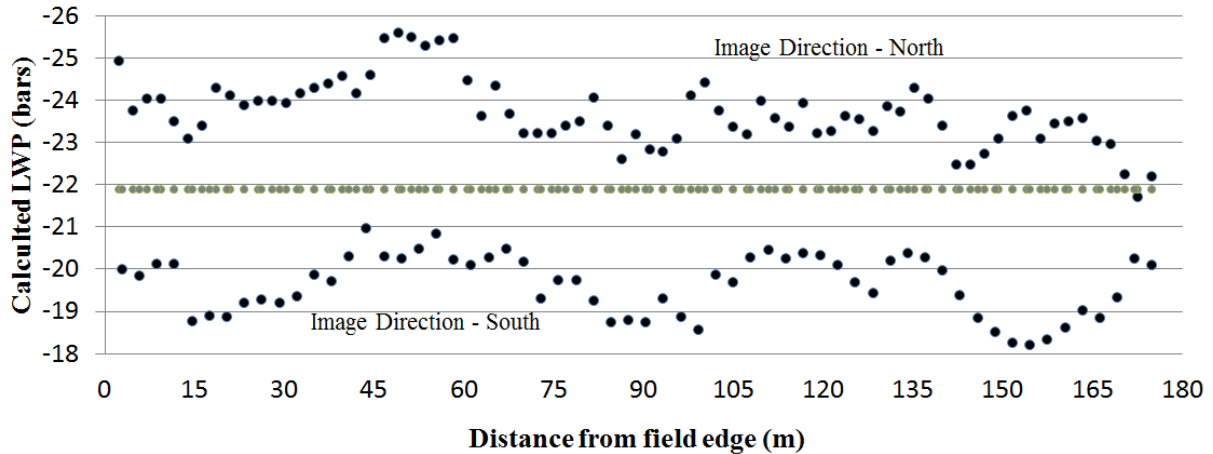
**איור 2: עקום פמ"ע (LWP) מומלץ, פמ"ע מחושב וכמויות השקיה לכל טאקט החל משלב מילוי ההלקטים ועד לסיום העונה בשדות 4 (עליון) ובשדה 62 (תחתון).**

**השונות המרחבית של מצב המים:** כאמור, מערכת הצילום התרמי הקרקעי שימשה כתחליף לצילום תרמי מוטס. למערכת זו יש הספק נמוך יותר משמעותית בהשוואה למערכת מוטסת. על מנת להפחית עלויות, הצילומים דגמו מקטע לאורכו של השדה בלבד. למרות זאת, נבחנה יכולת השימוש במערכת הקרקעית לזיהוי השונות המרחבית של מצב המים. זאת מכיוון שבמהלך כל נסיעה המערכת מאפשרת צילום של מאות תמונות. מצב המים של הצמח שנקבע על פי פמ"ע מחושב לאורך מסלול הנסיעה בשדה 34 מוצג באיור 3. מצב המים של הצמח בכל נקודה נקבע על ידי ממוצע פמ"ע שחושב בהתבסס על צילומים תרמיים משני כיווני הצילום. מפה זו מדגישה שניתן למפות חלקית את השונות המרחבית של מצב המים בשדה על ידי דגימה רציפה של המערכת. הטאקט המערבי הוערך בערכי פמ"ע גבוהים ונראה שהוא סובל מעקת מים בינונית. לעומתו, הטאקט המזרחי מציג ערכי פמ"ע נמוכים יותר אך עם שונות מרחבית גבוהה יותר.



**איור 3: מצב המים של הצמח שנקבע על פי פמ"ע מחושב לאורך מסלול הנסיעה בשדה 34. כל נקודה מייצגת ממוצע פמ"ע שחושב בהתבסס על צילומים תרמיים משני כיווני הצילום.**

**השפעת זווית השמש:** ממוצע כיסוי השטח המיוצג על ידי הצילומים בכל יום צילום עמד על כ- 900 דונם (1065 – 220 דונם). בהספק כזה העלות מגיעה ל- 5 ₪ / דונם לכל יום צילום ועלות עונתית של 20-25 ₪ /דונם לעונה. עלות גבוהה זו אינה מאפשרת יישום מסחרי של המערכת. במטרה להגדיל את עלות כיסוי השטח, נבדקה האפשרות לצלם מכיוון אחד בלבד. איור 4 מציג את ערכי הפמ"ע המחושבים בשני כיווני הנסיעה לאורך מסלול הנסיעה (31/07/2014, שדה 4). בשלב הראשון, הצילומים צולמו לכיוון צפון ובסוף השביל, הרכב הסתובב והחל לצלם לכיוון דרום. כצפוי, ערכי הפמ"ע שחושבו מהצילומים שצולמו לצד דרום היו נמוכים באופן מובהק מאלו שצולמו לצד צפון. כשמצלמים לכיוון דרום, חלק גדול מהמידע שצולם בתמונות אלו מתקבל מעלים מוצלים כך שערכי הטמפרטורה וכן ערכי הפמ"ע המחושבים נמוכים בהתאם. נמצא הבדל של 0.44 Mpa בין שני כיווני הצילום, תוצאה זו הינה גבוהה ביותר מ- 50% מסטיית התקן של מודל חיזוי הפמ"ע (0.26 Mpa); (Cohen *et al.*, 2014)). טבלה 2 מציגה את ההבדלים בערכי הפמ"ע המחושבים בין שני הכיוונים בכל תאריך. בקרוב לחצי מהמקרים נמצאו הבדלים גדולים בין הכיוונים. כאשר חושב הערך הממוצע בין הכיוונים, התקבלו ערכי פמ"ע הגיוניים (הבדלים של -0.3 Mpa - -0.1 Mpa בין הפמ"ע המחושב ושל מדידות החקלאי, לא מוצג כאן). לצורך השוואה, כאשר נבדקה התוצאה רק מכיוון אחד איכות התוצאות נפגעה.



• Calculated\_LWP • Average Calculated LWP

**איור 4: ערכים מחושבים של פוטנציאל המים בעלה בשני כיווני הצילום לאורך שביל הנסיעה – 31/07/2014, שדה 4.**

כאמור בשנים קודמות במהלך המחקר הרב-שנתי הזה, חושו ערכי פמ"ע אמינים באופן מדויק על ידי צילומים תרמיים מכיוון אחד. הסבר אפשרי לכך שיכול לענות על הבדל זה הוא גובה הפלטפורמה. בעוד בעונה זו, גובה הפלטפורמה עמד על 3.5 מטרים, בעונות הקודמות, הצילומים האלכסוניים נלקחו בעזרת תורן בגובה 20 מ' והמצלמה הורכבה בזווית של 45° מתחת לאופק. באופן זה, המצלמה קולטת את הקרינה הנפלטת משטח גדול מאד וכך, השפעת הזווית יורדת. בהתאם לתוצאות אלו, בצילומים תרמיים מהפלטפורמה הקרקעית הניידת יש לבצע צילום לשני הכיוונים.

**טבלה 2: ערכי פמ"ע מחושב על פי כיוון הצילום וערכי פמ"ע ממוצעים**

שדה	תאריך	ממוצע פמ"ע בכל כיוון (Mpa)		הבדלים בערכי פמ"ע בין שני הכיוונים (Mpa)	ממוצע פמ"ע
		South	North		
4	17/07/2014	-2.325	-1.782	0.543	-2.105
	24/07/2014	-1.934	-1.73	0.204	-1.841
	31/07/2014	-2.235	-1.79	0.445	-2.039
	07/08/2014	-1.918	-1.727	0.191	-1.829
	14/08/2014	-	-	-	-
	21/08/2014	-2.331	-2.222	0.109	-2.291
	28/08/2014	-2.617	-1.749	0.868	-2.143
62	17/07/2014	-1.873	-2.158	0.285	-1.97
	24/07/2014	-1.908	-1.74	0.168	-1.823
	31/07/2014	-1.845	-1.745	0.1	-1.804
	07/08/2014	-	-	-	-
	14/08/2014	-2.152	-1.846	0.306	-1.946
	21/08/2014	-2.54	-2.353	0.187	-2.442

## מסקנות

מדידה ישירה של פמ"ע הינה השיטה המקובלת לבקרת השקיה בכותנה. בשל המורכבות בביצוע מדידות אלו, מגדלים רבים נמנעים מהן וכך ניהול ההשקיה שלהם אינו מיטבי. מטרת השלב הזה במחקר הייתה לבחון מערכת צילום תרמי קרקעית לבקרת השקיה בשדות כותנה. ניסוי חצי מסחרי הראה שהשימוש במערכת שפותחה לצורך השקית שדות מסחריים הינה טובה לכל הפחות כמו המדידות הישירות. בנוסף, המערכת מספקת מידע חלקי לגבי השונות המרחבית של פמ"ע בשדה. השימוש במערכת זו יכול להגדיל את מספר המגדלים שישתמשו בבקרת השקיה על פי פמ"ע ובעקבות כך גם צפוי להגדיל את יעילות השימוש במים בגידול זה. עם זאת, צריך להמשיך ולחפש פתרון על מנת להגדיל את כיסוי שטח הצילום של המערכת ולהפכה ליישומית מבחינה כלכלית. דוגמא אפשרית לכך הינה צילום בעזרת זרוע הנעה בזמן הנסיעה לשני כיווני הצילום וכך בנסיעה לכיוון אחד יתקבלו שני כיווני הצילום וזמן הצילום יתקצר וההספק יהיה גדול יותר.

## תודות

אנו מודים מקרב לב ליגב ולעמוסי (איש ההשקיה) מרבדים שסייעו לנו בהקמת הניסוי ובאספקת נתונים משלימים. עוד ברצוננו להודות לסטודנטים ולשאר הצוות במכון להנדסה שסייעו בביצוע הצילומים באיסוף הנתונים.

## ביבליוגרפיה

- Alchanatis, V., Cohen, Y., Cohen, S., Moller, M., Sprinstin, M., Meron, M., Tsipris, J., Saranga, Y., Sela, E., 2010. Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging. Precision Agriculture 11 , 27-41
- Cohen, Y., Alchanatis, V., Sela, E., Saranga, Y., Cohen, S., Meron, M., Bosak, A., Tsipris, J., Ostrovsky, V., Orollov, V., Levi, A., Brikman, R., 2014. Crop water status estimation using thermography: multi-year model development using ground-based thermal images. Precision Agriculture, 1-19.
- Erdem, T., Halim Orta, A., Erdem, Y., Okursoy, H., 2005. Crop water stress index for potato under furrow and drip irrigation systems. Potato Res. 48, 49-58.
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Nicolas, E., Nortes, P.A., Alarcon, J.J., Intrigliolo, D.S., Fereres, E., 2013. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. Precision Agriculture 14, 660-678.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resources Research 171, 133-138.
- Prashar, A., Jones, H.G., 2014. Infra-Red Thermography as a High-Throughput Tool for Field Phenotyping. Agronomy 4, 397-417.
- Reginato, R.J., Howe, J., 1985. IRRIGATION SCHEDULING USING CROP INDICATORS. Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce 111, 125-133.
- Rud, R., Cohen, Y., Alchanatis, V., Levi, A., Brikman, R., Shenderey, C., Heuer, B., Markovitch ,T., Dar, Z., Rosen, C., Mulla, D., Nigon, T., 2014. Crop water stress index derived from multi-year ground and aerial thermal images as an indicator of potato water status. Precision Agriculture 15, 273-289.
- Sullivan, D.G., Fulton, J.P., Shaw, J.N., Bland ,G., 2007. Evaluating the sensitivity of an unmanned thermal infrared aerial system to detect water stress in a cotton canopy. Transactions of the ASABE 50, 1955-1962.