

מיפוי מצב מים בכותנה באמצעות צילומים תרמיים מוטסיים - דו"ח שנה ג'

מחקר מספר 458-0602-13

מוגש למועצת הכותנה

יפית כהן, ויקטור אלחנתי, אריה בוסק ויהושע סרנגה, בשיתוף עם אורי רוזנברג

תקציר

מטרות המחקר – יישום גישה לבקרת השקיה בכותנה המבוססת על חישה תרמית מן האוויר ובחינת יעילותה. בשנה הראשונה למחקר התמקדנו באפיון הרפרנס הישים ביותר לחישוב מדד העקה באמצעות צילום תרמי ופיתוח הליכי ניתוח חצי-אוטומטיים למיפוי מצב המים על מנת לספק מפות בטווח זמן של עד יומיים מהצילום. בשנה זו, המחקר התמקד בכימות יעילות ההשקיה באמצעות הצילומים התרמיים.

תוצאות וממצאים – תוצאות הניסוי משנת 2011 לאפיון הרפרנס הישים ביותר לחישוב מדד העקה לצילום תרמי מוטס הראו עדיפות לרפרנס הסטטיסטי המתבסס על חישוב ממוצע הטמפרטורה של 5% מהפיקסלים בעלי הטמפרטורה הנמוכה ביותר מתוך כלל הפיקסלים בצילום התרמי של השדה. יתרונו של רפרנס זה הוא הפשטות בהפקת הטמפי' על בסיס הצילומים התרמיים בלבד (מאפשר אוטומטיזציה פשוטה של התהליך) אך הוא מניח כי בהכרח חלק מהצמחים בשדה "נהנים" מהשקיה עודפת.

בשנת 2012, נמצא שהמצלמה התרמית באמצעותה בוצעו הצילומים לא כוילה כנדרש. כתוצאה מכך, טמפרטורת הכותנה המוצגת בתמונה אינה נכונה ולא היה ניתן לחלץ מהנתונים את מדד העקה התרמי ואת פוטנציאל המים בעלה.

בניסוי משנת 2013 לא נמצאו הבדלים בכמויות ההשקיה ובכמויות ואיכויות היבול בין השקיה של 100% על פי פוטנציאל מים בעלה (פמ"ע) מדוד ועל פי פמ"ע מחושב על בסיס צילומים תרמיים. התקבלו ההבדלים הרצויים בין הטיפול בעודף ובחוסר ביחס להשקיה של 100% באמצעות פמ"ע מחושב על בסיס צילומים תרמיים. כמו כן, לא נמצאו הבדלים מובהקים ביבול בין ארבעת הטיפולים.

מסקנות ולקחים – היכולת להשתמש ברפרנס סטטיסטי פותחת את הפתח לאוטומטיזציה של תהליך הפקת מפות הפמ"ע משדות מסחריים. בשיטה זו לא נדרשת הצבת כל אמצעי נוסף בשדה ולא נדרשת כל התאמה של השדה. (כמו בחישוב אמפירי הדורש הצבת תחנה מטאורולוגית או באזור מושקה בעודף). בכימות יעילות ההשקיה, נראה כי השקיה לפי פמ"ע המחושב באמצעות צילומים תרמיים אינו שונה מממשק ההשקיה המיטבי הרגיל. הצילומים משנת 2011 ו-2013 מראים על שונות גדולה בתוך השדה מה שמעיד על הפוטנציאל ליעול ההשקיה על בסיס מפות פמ"ע על פני מדידות נקודתיות.

מטרות המחקר לשנה הבאה – למרות סיום המחקר, מעבר לעבודה בחלקות מסחריות. השקיית שדות מסחריים באמצעות פמ"ע ממוצע ל"טאקט" המחושב מתוך צילומים תרמיים מרכב תוך כדי נסיעה. הכוונה היא להביא את השיטה ליישומיות מבחינה כלכלית. לכן, ייבדק ההספק של הצילום הרכוב. בנוסף, אם יתאפשר, יערכו צילומים תרמיים מוטסיים נוספים.

מבוא

בקרת השקיה, הינה הכלי העיקרי לאיזון מצב המים בשדה. נכון להיום, כל השיטות הזמינות למדידת מצב המים בצמח מבוססות על מדידת נקודות מדגמיות בשדה ללא התחשבות בשונות המרחבית. מחקרים בעולם ובארץ הראו כי צילומים תרמיים מספקים את השונות המרחבית של מצב המים בשדה בגידולים שונים והם בעלי פוטנציאל לשיפור ממשק ההשקיה באמצעות ייצוג טוב יותר של מצב המים בשדה כולו ובאמצעות השקיה משתנה במרחב. במחקר קודם שבוצע בארץ בשדות כותנה (סלע, 2007) פותח ותוקף מודל להערכה ולמיפוי פוטנציאל מים בעלה (פמ"ע) בצמחי כותנה באמצעות צילומים תרמיים קרקעיים ומוטסים. לצורך יישום גישה זו בבקרת השקיה, חסרים היו עדין שלושה רכיבים חיוניים: אפיון רפרנס (Twet) לניתוח יעיל של צילומים מוטסים, פיתוח מדדים להכוונת השקיה בהסתמך על השונות המרחבית של מצב המים ובחינת יעילות השקיה באמצעות מפות פמ"ע המבוססות על צילומי אוויר תרמיים. לפיכך, מטרת המחקר היו אפיון הרפרנס המתאים לחישוב מדד העקה התרמי על בסיס צילומים תרמיים מוטסים, פיתוח הליכי ניתוח חצי-אוטומטיים למיפוי מצב המים (על מנת לספק מפות בטווח זמן של עד יומיים מהצילום) והערכת יעילות ההשקיה המונחית על פי מפות מצב המים.

שיטות

אפיון רפרנס מדוייק וישים לחישוב מדד העקה (2011): העמדת הניסויים למטרה זו מפורטת בדו"ח שנה א' של המחקר, כאן התיאור מובא בתמציתיות. בתוך חלקה מסחרית של בני דרום הועמד ניסוי תלת גורמי: 2 זנים (אקלפי ופימה), 2 טיפולי השקיה (רגיל ובחוסר) ו-2 אורכי עונה (רגילה וקצרה) כאשר לכל טיפול הועמדו 6 חזרות. צילומים תרמיים מוטסים מעל חלקת ניסוי ומעל חלקות מסחריות בבני-דרום, ברבדים וביבנה בוצעו בתאריכים 10/07/11, 27/07/11, ו-18/08/11. במקביל נמדדו ערכי פמ"ע ב-4-6 צמחים ב-2-3 חזרות מכל טיפול בחלקת הניסוי וכן במספר צמחים מחלקה מסחרית ברבדים ב-2 מועדים. בשנה זו, נבחנו ארבעה סוגי רפרנסים: רפרנס מלאכותי, תיאורטי, צמחי וסטטיסטי.

בנוסף על-כך, פותחו הליכים חצי-אוטומטיים בסביבת Matlab לחישוב CWSI על בסיס הרפרנסים השונים ולאחר מכן חושב הפמ"ע תוך שימוש במודל שפותח בעבודתו של (סלע, 2007), הממיר ערכי ה-CWSI לערכי פמ"ע ומוצג במשוואה 1:

$$LWP = -1.76CWSI - 1.27$$

הצילומים המנותחים עברו אח"כ לסביבת ArcGIS לצורך הפקת מפות פוטנציאל מים בעלה לאפיון השונות המרחבית ולהשוואה עם מדידות שבוצעו על-ידי החקלאי בנקודות נבחרות.

בשנה ב' (2012) הועמדו ניסויי השקיה בדומה לאלה שהועמדו בשנת 2011 ובוצעו שלושה צילומים במהלך תקופת מילוי ההלקטים. לצערנו בדיעבד נמצא שהמצלמה התרמית באמצעותה בוצעו הצילומים מעל חלקות ניסוי וחלקות מסחריות לא כוילה כנדרש. כתוצאה מכך, טמפרטורת הכותנה המוצגת בתמונה אינה נכונה ולא היה ניתן לחלץ מהנתונים את מדד העקה התרמי ואת הפמ"ע.

השוואה בין השקיה רגילה להשקיה לפי צילומים תרמיים (2013): בתוך חלקה מסחרית של כותנה מזן אקלפי בגבעת ברנר הועמד ניסוי השקיה. במסגרת הניסוי הועמדו שני טיפולי השקיה עיקריים: ממשק השקיה משקי על פי מדידות של פמ"ע באמצעות תא לחץ פעמיים בשבוע (טיפול 1) וממשק השקיה משקי על-פי אמדן של פמ"ע מתוך צילומים תרמיים שבועיים (טיפול 2). לצד אלו הועמדו שני טיפולים נוספים: ממשק

השקיה בעודף (טיפול 3) וממשק השקיה בחוסר (טיפול 4) על-פי אמדן של פמ"ע מתוך צילומים תרמיים שבועיים. הסיבה להעמדת טיפולי העודף והחוסר היא לתקף את יכולת המודל המקשר בין מדד העקה התרמי (CWSI) לבין פוטנציאל המים בעלה לתיקון ההשקיה בתנאי השקיה קיצוניים השונים משיטת ההשקיה המקובלת. הניסוי הוצב בבלוקים בשש חזרות כאשר כל חזרה היתה בגודל של 18x19 מ'. בתקופת מילוי ההלקטים, בוצעו 4 צילומים תרמיים קרקעיים (אלכסוניים) בתאריכים 04/08/13, 11/08/13, 18/08/13 וב- 25/08/13. בתאריך 11/08/13 נערך גם צילום תרמי מוטס. כל הצילומים צולמו באמצעות מצלמה תרמית של FLIR מדגם SC655 למעט הצילום האלכסוני מתאריך 11/08/13 שצולם באמצעות מצלמה תרמית של FLIR מדגם SC2000 (המצלמות נבדלות בעיקר ברזולוציה מרחבית שלהם). בכל שבוע, מיד לאחר ביצוע הצילומים התרמיים, חושבו ערכי מדד העקה התרמי וערכי פמ"ע ממוצעים לטיפולים. על פי אמדני הפמ"ע המחושבים נקבעה ההשקיה השבועית לטיפולים 2-4 כאשר טיפול 1 הושקה לפי מדידות ישירות של תא-לחץ פעמיים בשבוע. בסיום העונה נערכה השוואה בין כמויות המים, משקלי היבול, איכות היבול ויבול הסיבים בין הטיפולים השונים.

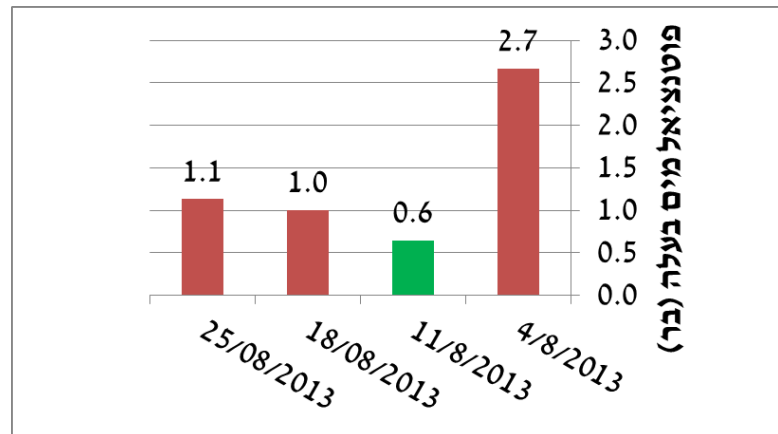
תוצאות

אפיון הרפרנס יעיל ויישים לחישוב מדד העקה (2011): בבחינת הרפרנס המתאים ביותר לזיהוי מצב המים על ידי צילום תרמי מוטס נמצא כי תוצאות הרפרנס הסטטיסטי בזן האקלפי מעידות על קשר טוב ($R^2=0.7$) ללא הערכת יתר. היכולת להשתמש ברפרנס סטטיסטי פותחת את הפתח לאוטומטיזציה של תהליך הפקת מפות הפמ"ע משדות מסחריים.

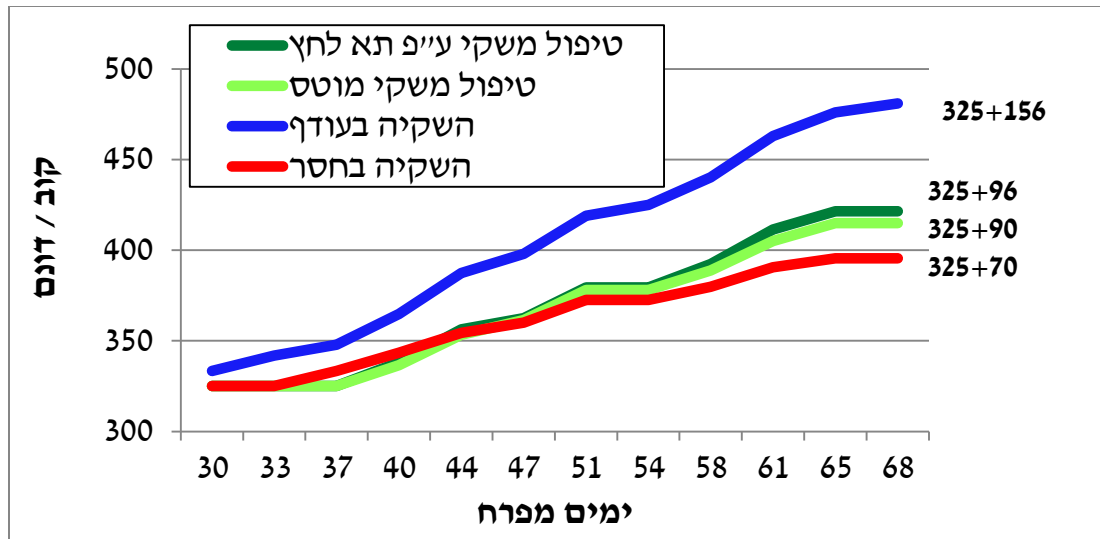
השוואה בין השקיה רגילה להשקיה לפי צילומים תרמיים (2013): למרות הקביעה כי ניתן להשתמש ברפרנס סטטיסטי לחישוב מדד העקה וממנו את הפמ"ע בשנת 2013 בחרנו להשתמש בטמפרטורה של אזור מושקה בעודף. בחירה של אזור מושקה בעודף כתחליף לרפרנס סטטיסטי נבעה מהעובדה שרפרנס סטטיסטי מתאים כאשר הצילום מכסה שטח גדול כמו זה המתקבל בצילום מוטס ואילו בשנה זו (2013) בוצעו צילומים אלכסוניים ורק ב- 11/08/2013 בוצע צילום מוטס. בבחינת שגיאת התקן (SE- standard error) בין פמ"ע מדוד למחושב בכל אחד מארבעת ימי הצילום התרמי התקבלו שגיאות תקן הנעות בין 0.6 ל-2.7 בר (איור 1). בהשוואת פמ"ע מחושב מול מדוד בסדרת הכיול נמצאה שגיאת תקן ממוצעת של 2.6 בר (סלע, 2007) ולכן התוצאות שהתקבלו השנה בכל אחד מימי הצילום ואשר מהוות סדרת תיקוף הן תוצאות תקינות. יש לציין, כי התוצאה הטובה ביותר התקבלה מהצילום המוטס היחידי שנערך בשנה זו (מסומן בירוק באיור 1). איורים 2 ו-3 מציגים את כמויות ההשקיה ומשקלי היבולים בטיפולים. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים במשקלי היבול אך בהשוואת שני טיפולי ההשקיה של 100% משקל היבול של ההשקיה לפי הצילומים התרמיים היה גבוה יותר בכ-10 קילו לדונם. מדדי האיכות שהתקבלו מהניפוט הראו תוצאות תקינות, במיון הידני, שני טיפולי ההשקיה המשקיים (טיפול 1 ו-2) קיבלו ערך זהה של 38.3. הטיפול בעודף (טיפול 3) קיבל ערך מעט נמוך - 35. ואילו הטיפול בחוסר (טיפול 4) קיבל כצפוי את הערך הנמוך ביותר - 31.7.

באיור 4 מוצגת מפת פוטנציאל המים בעלה בחלקת הניסוי שחושבה מתוך צילום תרמי מוטס. במפה זו, נקבעה טמפרטורת ה- Twet לחישוב מדד העקה התרמי על בסיס אזור בתוך חלקת הניסוי שהיה מוצף ולכן

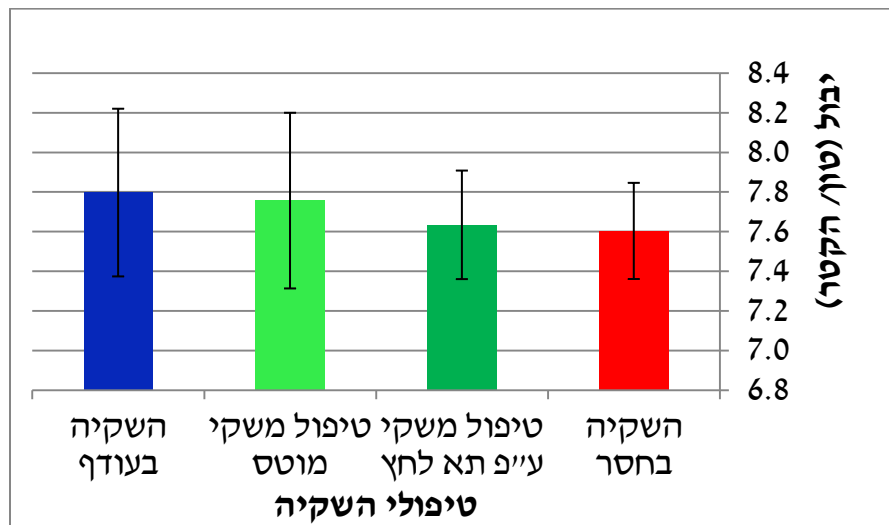
הונח שהוא מייצג עלים המאדים באופן חופשי. לאחר חישוב ה-CWSI, חושבו ערכי פוטנציאל המים באמצעות הצבה במודל ההמרה (משוואה 1).
 באיור 5 מוצגת מפת פוטנציאל המים בעלה בשדה המסחרי בגבעת ברנר שחושבה מתוך צילום תרמי מוטס. במפה זו, נקבעה טמפרטורת ה-Twet לחישוב מדד העקה התרמי על בסיס הרפרנס הסטטיסטי (טמפרטורה ממוצעת של 5% הפיקסלים בעלי הטמפרטורה הנמוכה ביותר).
 האפשרות להנהיג השקיה על-פי ערכי פמ"ע מחושבים על-בסיס צילומים תרמיים פותחת פתח לייעול השימוש במים בכותנה בשטחים נרחבים. בעתיד, יש לתקף ממצאים אלו בניסויים חצי-מסחריים.



איור 1: שגיאות התקן של פוטנציאל מים בעלה מחושב ביחס לפוטנציאל מים בעלה מדוד בכל אחד מימי הצילום. חישוב הפמ"ע מתבסס על חישוב של מדד העקה כאשר טמפי הרפרנס (Twet) היא טמפי של אזור המושקה בעודף. בחירה של אזור מושקה בעודף כתחליף לרפרנס סטטיסטי נבעה מהעובדה שרפרנס סטטיסטי מתאים כאשר הצילום מכסה שטח גדול כמו זה המתקבל בצילום מוטס ואילו בשנה זו (2013) בוצעו צילומים אלכסוניים ורק ב- 11/08/2013 בוצע צילום מוטס (מסומן בירוק). יש לציין שהתוצאות שהתקבלו מהצילום המוטס היו הטובות ביותר.

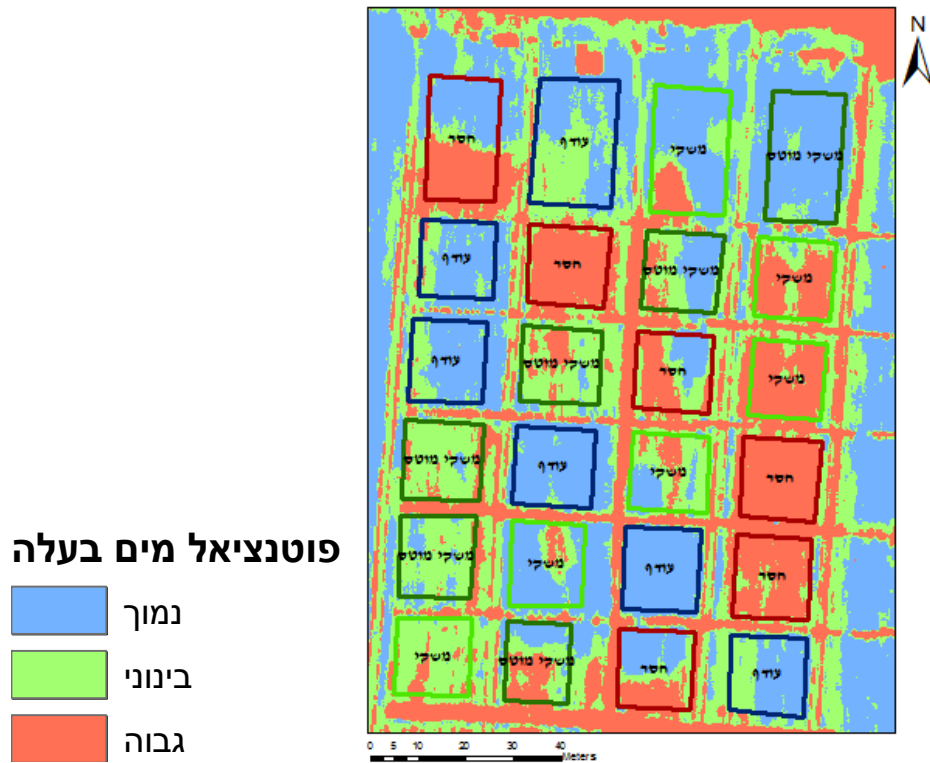


איור 2: השקיה מצטברת מתחילת העונה בכל אחד מהטיפולים. פיצול ההשקיה לטיפולים בוצע בתאריך 21/07/2013. עד אז, הושקה השדה באופן אחיד ב- 325 קוב לדונם.

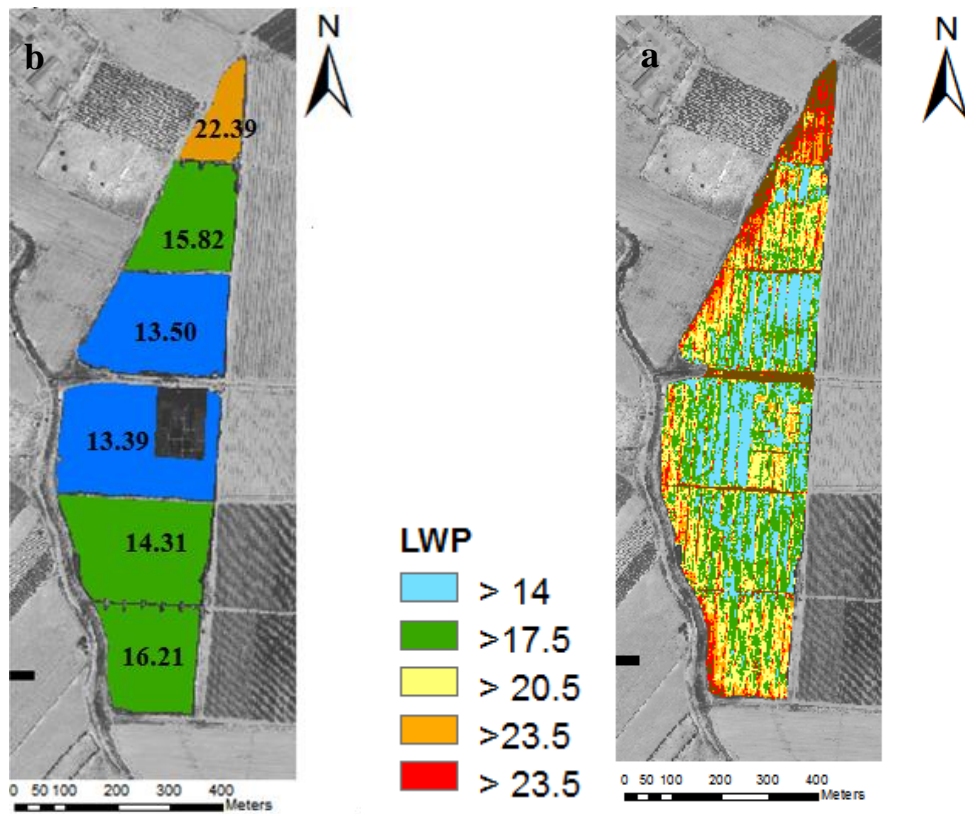


איור 3: יבול ממוצע לטיפול בטון להקטר.

חלקת ניסוי גבעת ברנר - 11/08/13



איור 4: מפת פוטנציאל המים המחושב מצילום מוטס בחלקת הניסוי מתאריך 11/08/2013. ניתן לראות כי ישנה התאמה טובה בין הטיפולים ובין הפמ"ע המחושב. ברב החזרות של ההשקיה בעודף נמצאו ערכי פמ"ע נמוכים יחסית וברב חזרות ההשקיה בחוסר נמצאו ערכי פמ"ע גבוהים יחסית.



איור 5: מפות פוטנציאל המים המחושב של השדה המסחרי בגבעת ברנר. פוטנציאל מים מחושב לכל פיקסל (מימין) ופוטנציאל מים ממוצע לפי טאקט השקיה (משמאל).

ביבליוגרפיה

סלע, א. (2007). אומדן ומיפוי של מצב המים בצמחי כותנה באמצעות צילומית תרמיים. האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות, ישראל.