

## שם המחקר: מיפוי עקת מים בכותנה בסריקה תרמית להכוונת השקיה.

### דוח מסכם לשנת 2007 מוגש להנהלת ענף כותנה

מוגש ע"י:

<sup>1</sup>משה מירון<sup>2</sup> און רבינוביץ, <sup>3</sup>ויקטור אלחנתי, <sup>3</sup>יפית כהן, <sup>1</sup>יוסף ציפריס <sup>1</sup>וולרי לויין-אורלוב.

<sup>1</sup>מיג"ל

<sup>2</sup>ש.ה.מ.

<sup>3</sup>המכון להנדסה חקלאית

1. שם ההצעה: מיפוי עקת מים בכותנה בסריקה תרמית להכוונת השקיה.

2. ועדת שיפוט: אגרונומיה

3. מבוא ותיאור הבעיה:

הערכה נכונה של עקת המים בקמת הכותנה מהווה משוב חשוב ביותר לנהול נכון של ההשקיה. אמצעי הניטור המקובלים היום – קרקעיים או צמחיים – הם כולם נקודתיים, כך שקבלת מידע מרחבי נכון על פני שטחים גדולים כרוכה בעבודה ובהוצאות מעבר לכדאיות הכלכלית בגידולי שדה. סריקה מהירה של השטח באמצעי חישה מרחוק מאפשרת מיפוי כלל השטח, או לכל הפחות חלק ניכר ממנו כאשר יש מגבלות מחיר או בצו.

בעבודות קודמות הוכח כי ניתן להעריך את מידת עקת המים בכותנה ע"י מדידת חום העלווה בעזרת צלום תרמי רדיומטרי, הפרדת חלק העלווה הרלוונטי מרעש הרקע בעזרת תוכנה, והשוואת חום העלווה המתקבל לחום האוויר ולחום של משטח ייחוס מלאכותי, בעל תגובות ידועות מראש. ככל שחום העלווה ביחס לסביבה יהיה נמוך יותר, כך עקת המים רפה יותר, והאינדקס המתקבל מתוך נירמול חום העלווה לתנאי הסביבה (CWSI – Crop Water Stress Index) יהיה נמוך יותר. כן נמצא כי בתנאים השוררים במרבית ימי הקיץ בארץ, ניתן להגדיר בצורה טובה את רמות העקה בכותנה, בהשוואה ליכולות הגדרת עקה בעזרת תא לחץ. בשנת 2007 נערכו שש סריקות קרקעיות וסריקה אווירית אחת והתוצאות מובאות כאן:

4. שיטות וחמרים:

הסריקות הקרקעיות נערכו בשטח כותנה של גדי"ש שמש, באזור שדה נחמיה, בחלקה בעלת שונות קרקעית קיצונית, כך שבאותה שורה היו קטעים חוליים וקטעים חרסיתיים עם תכונת החזקת מים מועטה מאוד או רבה מאד במרחקים קצרים זה מזה. השטח הושקה בקונוע חזיתי לפי הנוהגים של המשק, ללא התערבותנו. החלקה בגודל 250X260 מטר נסרקה בפסים ברוחב של כ 4 מטר, ובמרווחים של 24 או 12 מטר בחלק מהסריקות, כלומר בכסוי של 16% - 33%.

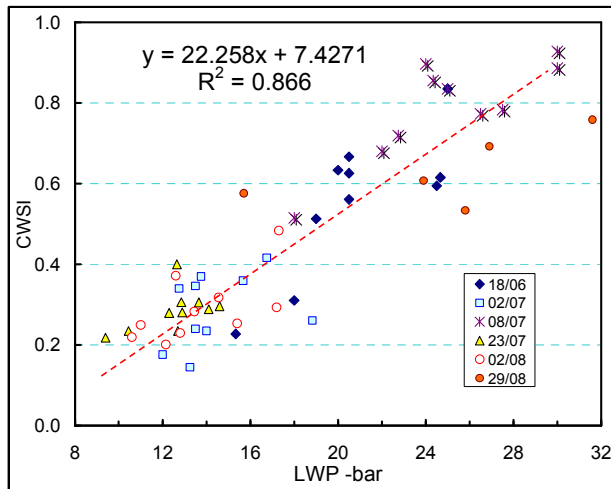
תחנה מטאורולוגית אוטומטית רושמת הוצבה בשטח הנסוי. משטח הייחוס הורכב ממצוף בתוך מיכל מים שטוח בגודל 40X30 ס"מ. מכוסה בבד לא ארוג לבן מורטב בספיגה מתוך המיכל. מד חום אינפרא אדום מתוצרת Apogee הוצב מעל המשטח וחובר לאוגר הנתונים של התחנה. הנתונים נאספו כממוצעי 10 מדידות כל דקה.

המדידות נערכו בסורק תרמי רדיומטרי מכוויל FLIR SC2000 עם עדשה בזוית ראייה של 45 מעלות, שהורכב על מרסס מוגבה תוצרת טכנומה בגובה של 6 מטר מעל הקרקע, או כ 4.5 מטר מעל הקמה. כן הותקן על המרסס מאכץ GPS עם יכולת דיוק של 1-3 מטר. המצלמה והמאכץ חוברו למחשב נייד, כאשר שניהם מעבירים תמונה תרמית ונקודת אכון כל שניה, מסונכרנים לשעון של המחשב. מהתמונות התרמיות הופקה הטמפרטורה הממוצעת של 33% הפיקסלים הקרים ביותר, לאחר סילוק הפיקסלים החמים מהאוויר ב 7 מעלות או קרים מהאוויר ב 10 מעלות. אינדקס העקה חושב לפי הנוסחה:

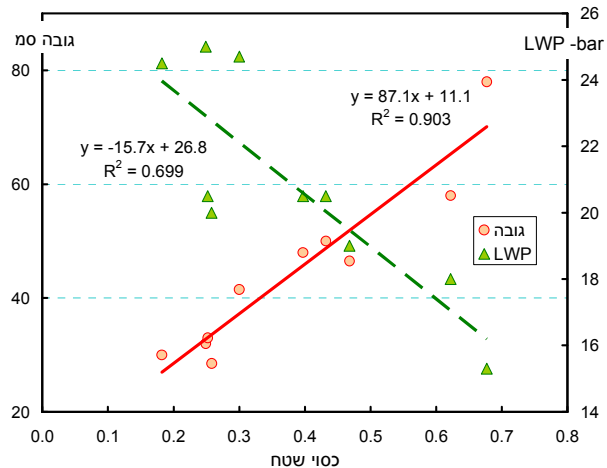
$$CWSI = \frac{\text{Canopy T} - \text{reference}}{\text{Air T} + 5^\circ - \text{reference}}$$

כאשר CWSI=0 אין עקה, כאשר CWSI=1 עקה מוחלטת, הצמח נבל. אינדקס העקה יוחס לנקודת האכון של מרכז התמונה ברשת ישראל החדשה, ומפת עקת מים הוכנה לאחר אינטרפולציה בין נקודות המדידה בעזרת תוכנת ArcView 9.2 עם התוסף Spatial Analyst. סומנו 10 נקודות בעלות שונות קיצונית ביכולת החזקת המים בקרע. על מקלות הסימון נמדד גובה הצמחים אחת לשבוע בתקופת הצמיחה המהירה. פוטנציאל המים נמדד בארבעה עלים סביב למקל הסימון בשעת הסריקות.

הסריקה המוטסת נערכה בעזרת חברת כים-ניר, ב-22/8/2007 לקראת ההשקיה האחרונה בשטח הנסוי. הסריקה הקיפה שטחי גידול בטנים מושקים בקונוע, שטח עגבניות לתעשייה בהשקיה בטפטוף, ושטחי כותנה של גד"ש שמש בהשקיה בקונוע ובטפטוף. הסריקה בוצעה מגובה 50 מטר, ברוחב פס של 50 מטר, ברזולוציה קרקעית של 15 ס"מ, בכסוי מלא בשטח הקונוע החזיתי ובכסוי של 60% בשאר השטח. התחנה המטאורולוגית ומשטח הייחוס הוצבו כמו בסריקה הקרקעית. מסגרת הצלום חולקה לצורך החישובים לששה חלקים שווים של 12 מ"ר, ולמרכז כל תת-מסגרת יוחסה נקודת ציון ברשת ישראל. לא נערכו בדיקות אמות קרקעיות נוספות.



איור 1. הקשר בין אינדקס העקה לפוטנציאל המים בעלה בששה מועדי סריקה בגד"ש שמש 2007



איור 2. הקשר בין כסוי השטח לגובה הקמה ופוטנציאל המים במועד הסריקה הראשון, גד"ש שמש 2007.

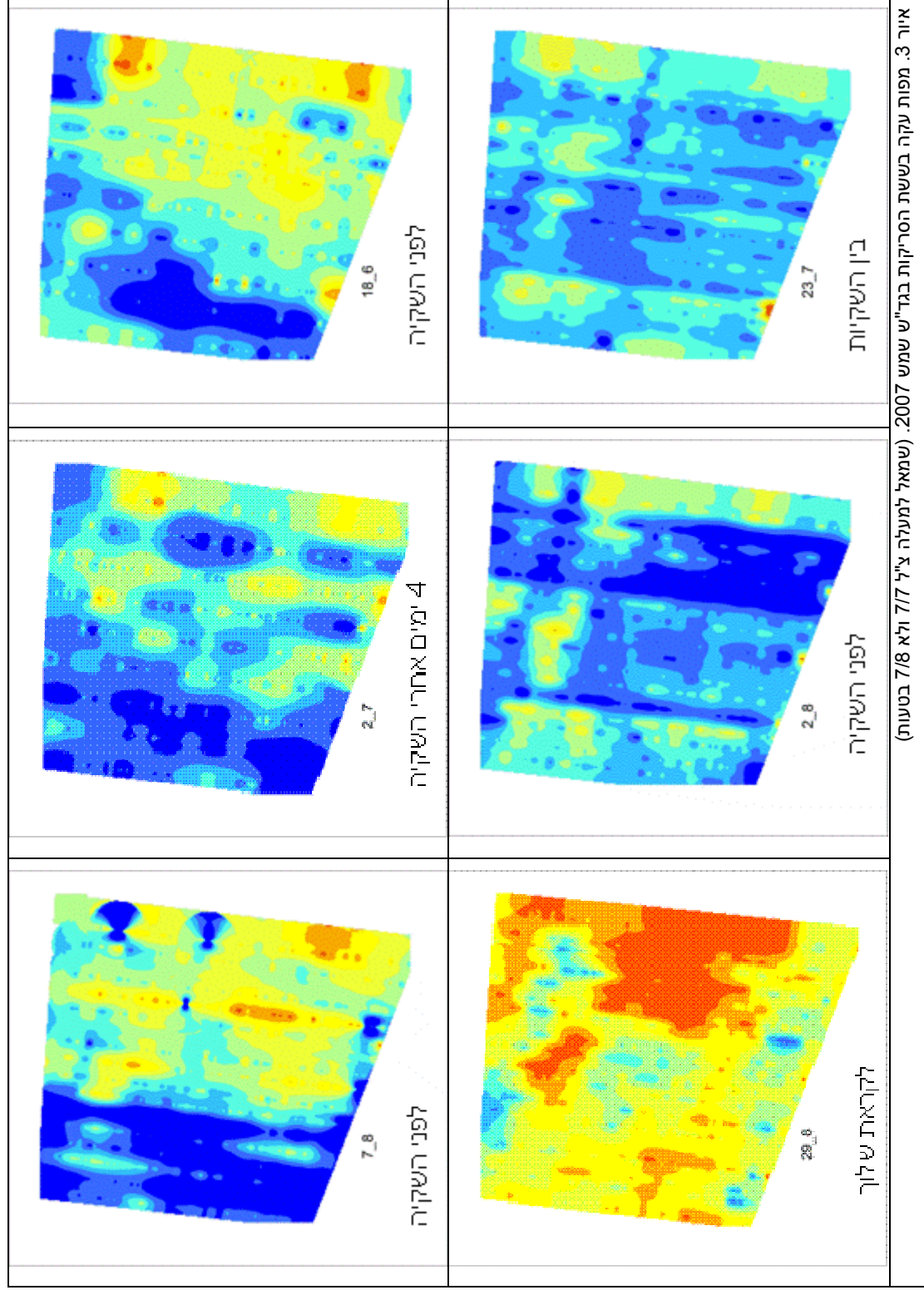
## 5. תוצאות ודיון:

א. הקשר בין ערכי אינדקס העקה לפוטנציאל המים בעלה.

כפי שרואים באיור 1. בין אינדקס העקה לפוטנציאל המים התקבל קשר ליניארי טוב. ניתן להבחין היטיב בין מצבי העקה שהתפתחו בשני המועדים המוקדמים והמועד המאוחר, לבין מצבי השקיה מספקת במועדים האחרים, התחומים בין  $LWP < 16$  ו  $CWSI < 0.4$ . בתוך התחום המושקה היטיב יכולת ההבחנה היתה פחות טובה. ממצא זה מאשש תוצאות נסויים משנים קודמות, בהם התקבלה התאמה קווית בין מדדי עקה אלה. למרות שנוסחאות הקו היו שונות, תחומי העקה – ללא עקה ניתנים להגדרה בצורה דומה.

ב. כסוי השטח, וגובה הקמה.

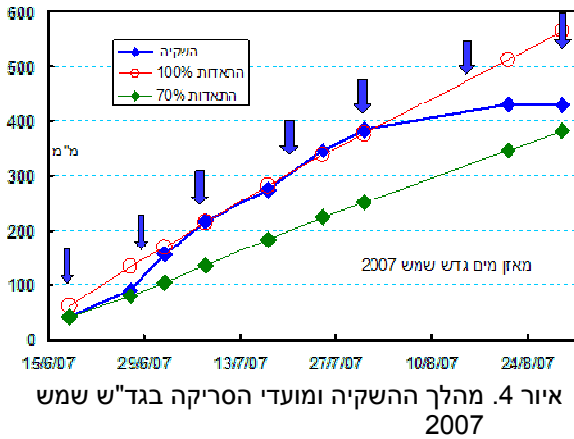
במועד הסריקה הראשון, לפני התחלת ההשקיה מצאנו קשר ליניארי טוב מאד בין כסוי השטח, כפי שנמדד ע"י חלוקת הפיקסלים בתחום הטמפרטורות המייצגים צמחייה לבין כלל השטח (איור 2). הסיבה לשונות בהתארכות הצמחים נעוצה כמובן בהחזקת המים של השטח לאחר הגשם, כפי שניתן להיווכח מרמות העקה (LWP) שהתפתחו, המסבירות את השונות בכסוי השטח.



ג. מפות עקה בסריקה קרקעית

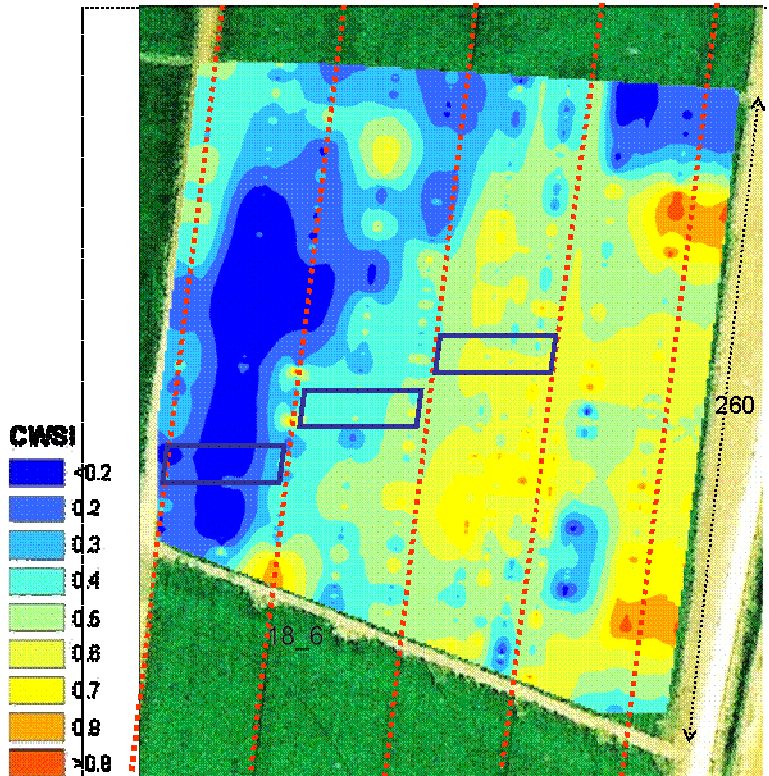
במבט על מפות העקה (איור 3), מול מועדי הצלום ומצב ההשקיה במועדים אלה, ניתן לראות שעד מועד הצלום השלישי (7/7), לקראת ההשקיה הרביעית, כמויות המים פיגרו אחרי הצריכה בשלוש ההשקיות הראשונות, והשיגו את כמות המים הנדרשת רק בהשקיה הרביעית, מיד אחרי אותו הצלום אחרי הצהרים.

תגבור ההשקיה הביאה את השטח לאחידות, ובמועד הצלום החמישי התבלטה עקה נמוכה דווקא באזורים שבהם הכותנה היתה צמאה בהתחלה ופיגרה בגידול. נראה כי ההתאדות היתה נמוכה יותר באזורים אלה בגלל צמחים



קטנים וכסוי השטח קטן יותר, כך שנוצר עודף מים בקרקע. בצלום האחרון רואים שלאחר ההשקיה האחרונה, אזורים אלה הקדימו להתייבש הודות להחזקת המי הנמוכה, ואינדקס העקה עלה.

מפוי עקת מים בסריקה תרמית מאפשר נהול השקיה דיפרנציאלית לפי אזורי נהול. הדגמה של אפשרויות כאלה מובאת באיור 5. קונוע הניתן לחלוקה לפי מפתחים, ובקר המסוגל לקלוט מפת עקה, יכול להשקות בכמויות משתנות את השטח לפי צרכי הצמחייה. כן ניתן לבצע מעברי השלמה, או הקדמת השקיה באופן דיפרנציאלי בחלקים שונים של השטח, ובאחרים לא.

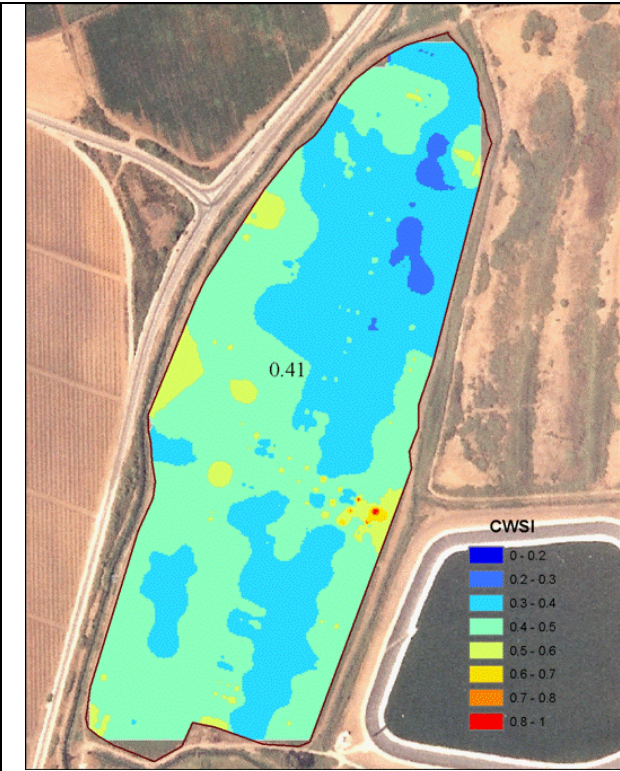


איור 5. הדגמה של אפשרויות השקיה מדייקת בקונוע לפי מידת העקה של השטח

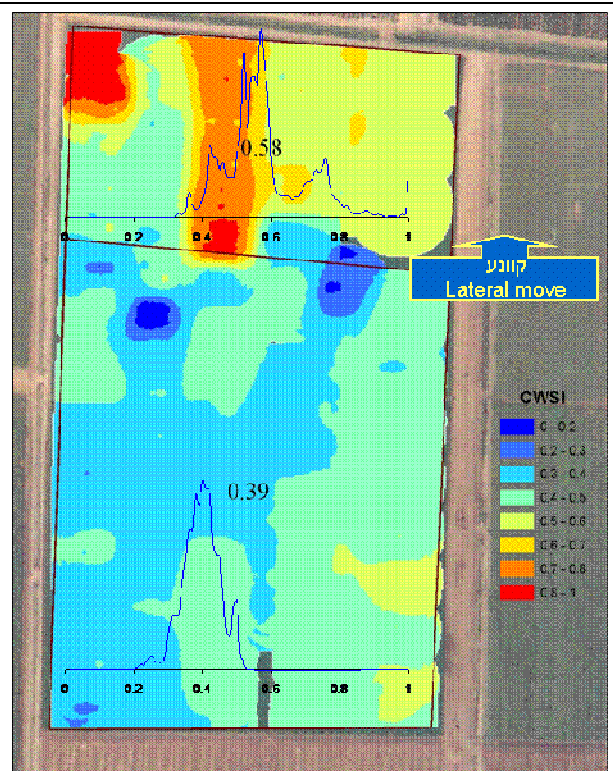
ד. מפות עקה בסריקה אווירית.

מפות העקה מובאות באיורים 6 עד 10, בעמודים הבאים. ניתן להבחין בעמדות של הקונוע, ובהבדלים ברמות העקה בהתאם למצב ההשקיה. גם בשטחי הטפטוף ניתן להבחין בשוניות, אם כי שטחים אלה אחידים יותר מאשר הקונועים.

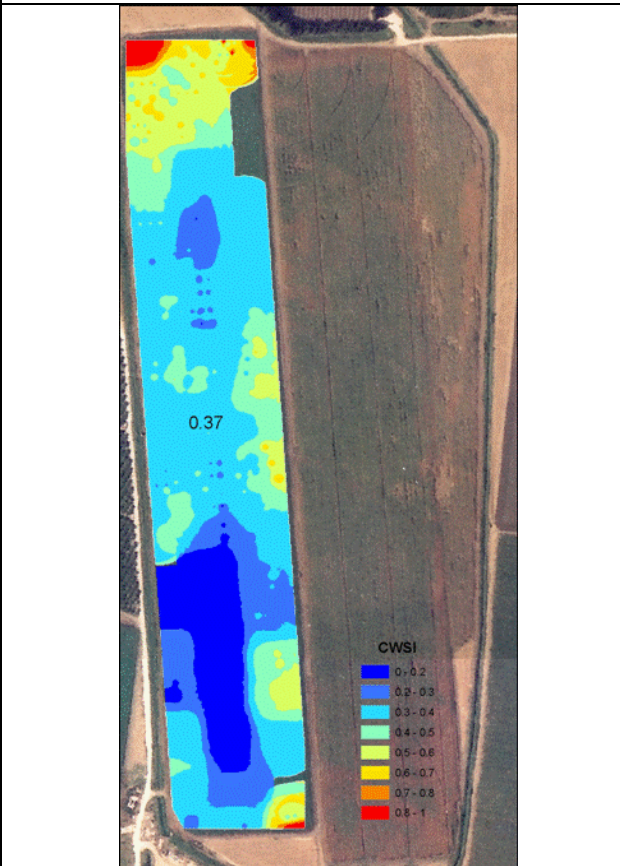
גם ברמות העקה בכותנה ניתן לראות את ההבדלים בין בשטחים. בטפטוף ההשקיה עדיין נמשכה, אבל בקונועים ההשקיה היתה לפני או מיד אחרי השקיה אחרונה.



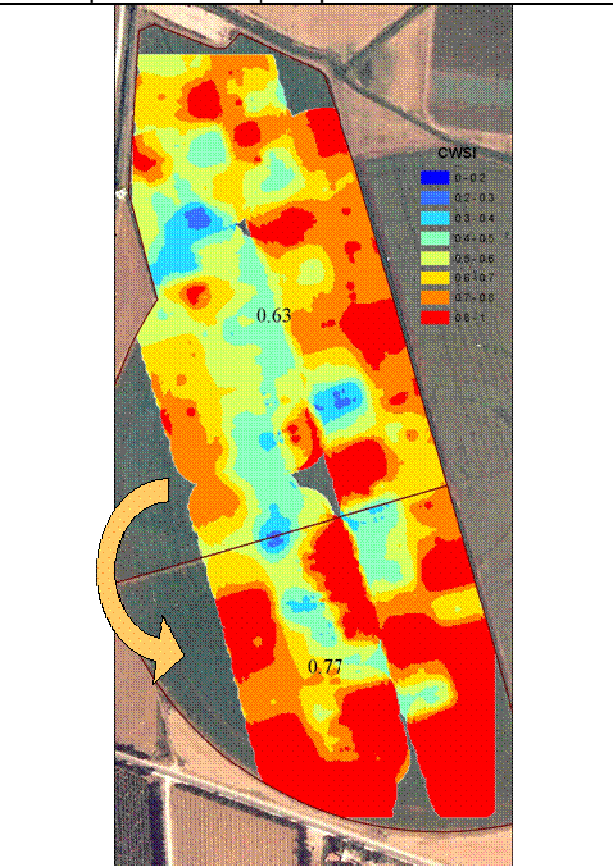
איור 7. מפת עקה של שטח עגבניות לתעשייה מושקים בטפטוף, גד"ש שמש 22/7/2007.



איור 6. מפת עקה של שטח בטנים כפר הנשיא 22/8/2007. צוינו ממוצעי והתפלגות אינדקס העקה לפני ואחרי השקיה.



איור 9. מפת עקה של שטח כותנה בהשקיה בטפטוף, גד"ש שמש 22/7/2007



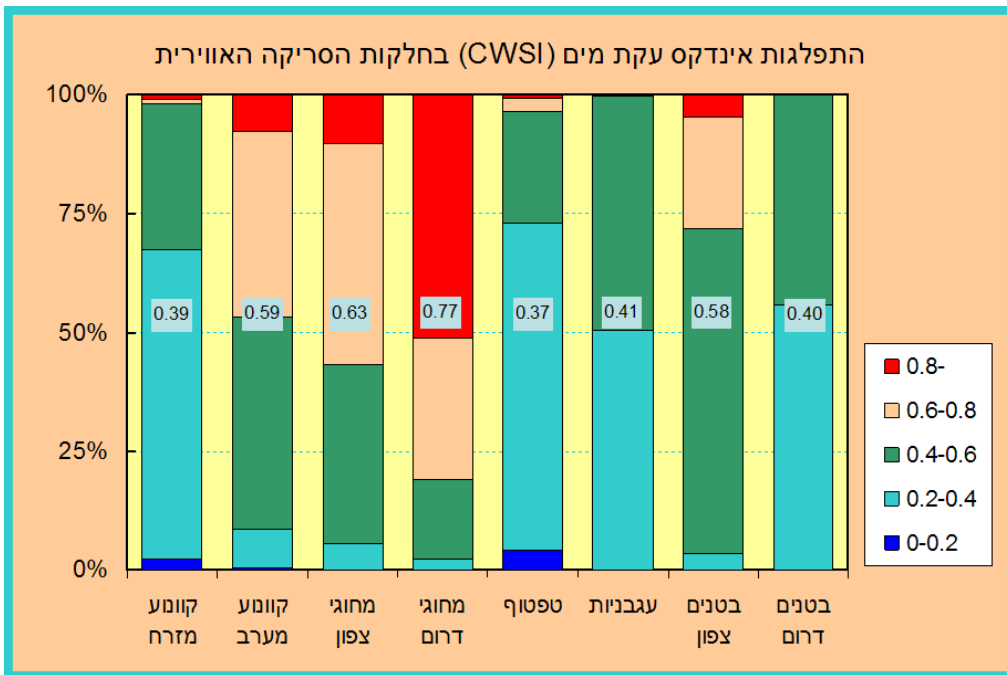
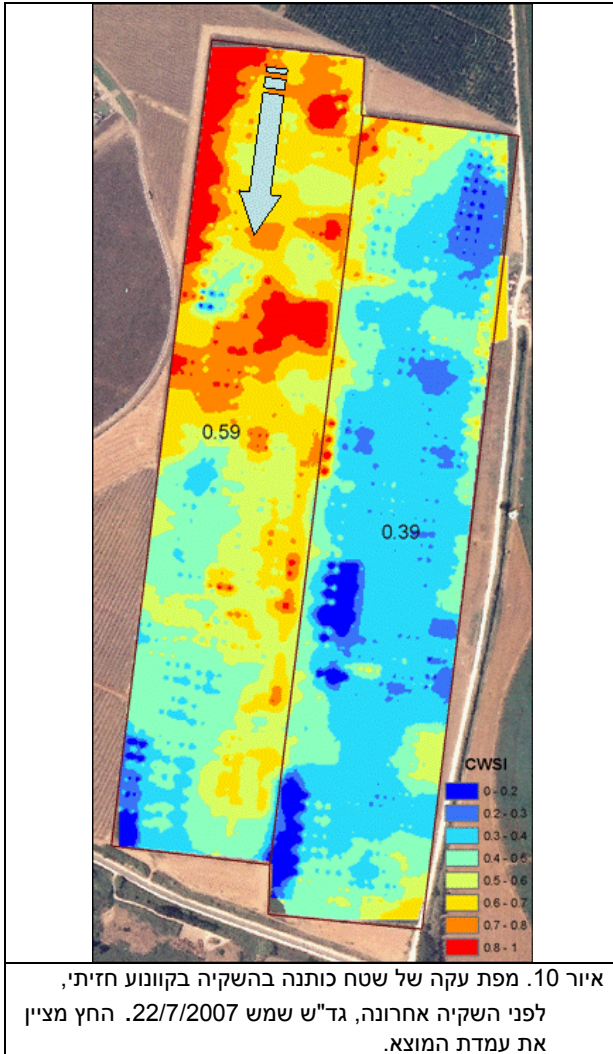
איור 8. מפת עקה של שטח כותנה לאחר השקיה אחרונה בקונוע מחוגי. הקונוע ממוקם באמצע על הדרך.



ה. הגשת תוצאות למגדל.

מפות עקה נותנות מבט כולל על מצב הגידול. הפיכתם למידע לשם קבלת החלטות מצריך חלוקה לאזורי ניהול, כיחידה ההומוגנית הקטנה ביותר שניתן ליישם בה טפול. בקונוע זה יכול להיות מפתח כיחידת רוחב, וקטע התקדמות כיחידת אורך. בטפוף זה יכול להיות טקט השקיה.

באיור 11 מובאת דוגמה להצגת רמות עקה לפי אזורי ניהול, במקרה זה יחידות שטח שסרקנו. לכל אזור ניהול הצגנו את הממוצע ואת התפלגות העקה בחמש רמות. הצגה כזו נותנת תמונה מספרית פשוטה וישירה, על פיה ניתן לנהל את ההשקיה.



איור 11. טבלת תוצאות סריקה מוגשת למגדל לצורך קבלת החלטות: לכל תת-חלקה מצוין אינדקס העקה הממוצע, עם תאור גרפי של התפלגות העקה בחמש רמות עיקריות בשטח.

## 6. תקציר, סכום ומסקנות:

מטרת המחקר היתה מפוי מרחבי של עקת המים בגידול לצורך התאמת ההשקיה באופן מרחבי לצרכי הגידול – "השקיה מדייקת", אשר אינה ניתנת ליישום ללא מפוי כזה.

בעונת 2007 נערכו שש גיחות סריקה תרמית קרקעית וגיחה אווירית אחת בשטחי הכותנה של גד"ש שמש בגליל העליון. הסריקה הקרקעית נעשתה ברוחב פס של 4 מטר, כל 12 או 24 מטר, 16-32% כסוי, הסריקה האווירית ברוחב פס של 50 מטר, בכסוי של 60-100%. טמפרטורות העלווה בכל מסגרת צלום הופרדו בשיטה סטטיסטית מאלה של הקרקע, ואינדקס עקת המים חושבה ביחס לחום משטח היחוס המלאכותי וחום האוויר. אינדקס העקה יוחס לנקודת ציון ברשת ישראל במרכז המסגרת, ולאחר יצירת שריג באינטרפולציה בין הנקודות הופקו מפות העקה.

בשטח הסריקה הקרקעית אותרו נקודות עם יכולת החזקת מים בשונות גבוהה זו מזו. בנקודות אלה נמצאה קורלציה קווית עם מקדם מתאם של  $R^2=0.866$  בין פוטנציאל המים בעלה לאינדקס העקה (CWSI). אינדקס עקה של 0.4 סימן את הגבול בין גידול בעקה לבין מושקה היטיב. תוצאה זו מאששת תוצאות משנים קודמות.

לאורך העונה ניתן היה לנתח את הקשר בין משטר ההשקיה לבין מפות העקה ולהבחין בהתפתחות מצבי עקה לאור כמות המים שניתנה לעומת הכמות הנדרשת להחזרת ההתאדות.

את תוצאות הסריקה ניתן להגיש לצורך קבלת החלטות במפות עקה חזותיות, בעקומי התפלגות, בטבלת תוצאות מובנית וכן בצורת תכנית תפעול למכונות השקיה עם בקרה מתאימה. אפשרויות אלה הודגמו במחקר.

תוצאות אלה מהוות הוכחת התכנות לאפשרות יישום השיטה המוצעת בתנאי ייצור חקלאי. יהיה צורך לבצע מיזם בקנה מידה טרום מסחרי, על מנת לבחון את נקודות המגע בין מערכת המידע לבין המשתמש הסופי ולפתח את המערכת למפוי עקת המים בכותנה בעזרת סריקה תרמית למערכת ייצור חקלאית מוצקה.

לאחר שמפוי העקה המרחבי יהיה זמין ליישום, השלב הבא יהיה התאמת מערכות פיזור המים להשקיה מדייקת.

## 7. הבעת תודה:

תודתנו נתונה להנהלה ולצוות גד"ש שמש, לאמיר רז והלל אגסי על שתוף הפעולה, על הרצון הטוב ועל ספיגת ההטרדות, ולנהג המרסס, אביב אשד, על הבצוע המעולה.

תודה גדולה ומיוחדת לחברת כים-ניר שתרמה את התקנת הציוד על המטוס ואת שעות הטיסה, בלעדיהם חלק חשוב מעבודה זו לא יכלה להצליח.

הנסוי נערך במימון תכנית BARD מס 8006-04, הקרן הדו לאומית ארה"ב ישראל למחקר חקלאי; **תכנית מס .....** של המדען הראשי במשרד החקלאות; ובמימון מועצת הכותנה.