

**פיתוח פרוטוקול בקרת השקיה אוטומטי לנקטרינה ואפרסק בעזרת חיישני  
עקת מים קרקעיים וצמחיים**

**Developing an automated irrigation protocol for nectarine and peach based  
on soil and plant water stress sensors**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר

על ידי

אור שפירא<sup>3</sup>, שבתאי כהן<sup>1</sup>, עמוס נאור<sup>3</sup>, יוני גל<sup>2</sup>, מוטי פרס<sup>1</sup>, הוגו למקוף<sup>1</sup>, דוד כהן<sup>3</sup>, יוסי טנאי<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

<sup>2</sup>שה"ם, משרד החקלאות

<sup>3</sup>מו"פ צפון

**Or Shapira<sup>3</sup>, Cohen Shabtai<sup>1</sup>, Naor, A.<sup>3</sup>, Gal Y.<sup>2</sup>, Peres M.<sup>3</sup>,  
Lemcoff Hugo<sup>1</sup>, Cohen David<sup>3</sup>, Tanny, Y.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Water and Soil, ARO, the Volcani Center*

<sup>2</sup>*Extension Service, Ministry of Agriculture*

<sup>3</sup>*Northern R&D Station*

דצמבר 2011

כסלו תשע"ב

דצמבר 2012

מתוקן כסלו תשע"ג

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים לא מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר

רשימת פירסומים:

אין

## א. תקציר

### הצגת הבעיה:

מטרת המחקר לפתח פרוטוקול עבודה לשימוש בחיישנים רציפים, כגון טנסיומטרים, מדי רטיבות קרקע נפחית, ודנדרומטרים לבקרת השקייה. החיישנים הרציפים ואלגוריתם מתאים ישמשו תחליף למדידות תא הלחץ.

### מהלך ושיטות עבודה:

הניסוי, שמומן לשנתיים בלבד, התבצע במטע נקטרינה בכפר חרוב ברמת הגולן. הניסוי כלל ארבע טיפולים עם חמש חזרות (20 חלקות) בתוספת חלקה שבו בחננו תגובת חיישנים למחזורי ייבוש והרטבה. השקייה בשנה הראשונה הייתה סטנדרטית תוך ניטור החיישנים ובשנה השנייה הייתה לפי טבלאות (על בסיס נתוני התאדות), והחל מתחילת יולי מתוקן לפי חיוויי החיישנים בכל טיפול – תא לחץ (פוטנציאל מים בגזע), מד רטיבות נפחית של הקרקע, טנסיומטרים, ודנדרומטרים. נתוני החיישנים (ECO לרטיבות נפחית, טנסיומטרים, ודנדרומטרים) הומרו לפוטנציאל מים בגזע לפי מקדמים שנמדדו בשנה הראשונה של המחקר. מקדמי ההשקיה שונו לפי אלגוריתם פשוט ע"מ לקיים פוטנציאל מים בגזע דומה בטיפולים. הוצבו חיישנים ותחנה מטאורולוגית, כאשר רוב החיישנים מחוברים למערכת תקשורת אינטרנטית והאחרים דרך טלפון סלולארי. הופעלו בשנה הראשונה מחזורי ייבוש והרטבה אחת ובשנה השנייה שלושה מחזורי ייבוש והרטבה בחלקים שונים של הקיץ. התגובה של החיישנים לרמת המים, לעונה ולמחזור ייבוש הושוו לפוטנציאל מים בגזע ולקצב גדילת פרי. התוצאות מהמחזורי ייבוש והרטבה שימשו לבניית קשרים מתמטיים בין חיוויי החיישנים לפוטנציאל מים בגזע.

### תוצאות עיקריות:

המערכת נרכשה והותקנה במלואה בהצלחה בשנה א'. בשנה א' נעשתה הרצה של המערכת כדי לוודא שאין הבדלים מובהקים בין החלקות וללמוד את התגובה של החיישנים. בחלקת 'ייבוש והרטבה' בוצע מחזור ייבוש והרטבה ביולי-אוגוסט. מתוצאות מחזור זה קבענו את התגובה היחסית של כל פרמטר (רטיבות קרקע נפחית, התכווצות גזע, ופוטנציאל מים בקרקע) לפוטנציאל מים בגזע באמצע היום. לא נמצאו הבדלים בין החלקות ביבולים. בשנה ב' החל מתחילת יולי ההשקיה תוקנה לפי חיווי החיישנים (על בסיס הקשרים שנלמדו בשנה א') ע"מ לשמור על ערך פוטנציאל מים בגזע של 9 באר (בין 8 ל-10). התבצעו שלושה מחזורי ייבוש והרטבה ב-2011 ומהם חושבו שיפועים עבור הקשרים בין החיישנים לפוטנציאל מים בגזע לעונות השונות. נאספו נתונים אקלימיים ונמדד צריכת מים בעצים בכל הטיפולים. בגלל ניהול ההשקייה הנ"ל התפתחו הבדלים במנות ההשקיה, אבל היבולים ומיון פרי לפי גודל הראו העדר הבדלים בין החלקות. בטיפול לפי חיישני רטיבות קרקע נפחית (מסוג אקו) היה ריבוי תקלות (אולי בגלל שהקרקע כבדה) ובגלל שביולי הערכים עברו את הסף להגדלת המנה הוא הושקה יותר בכ-50 מ"מ עונתית. בהמשך ננתח את הקשרים לעומק ע"מ להמשיך בפרויקט הבא. הוגש הצעה למדען (שאושר בשלב ההקדמי) להמשיך את המחקר לשנתיים נוספות ובכל מקרה נמשיך את הניסוי עוד שנה.

**מסקנות והמלצות:**

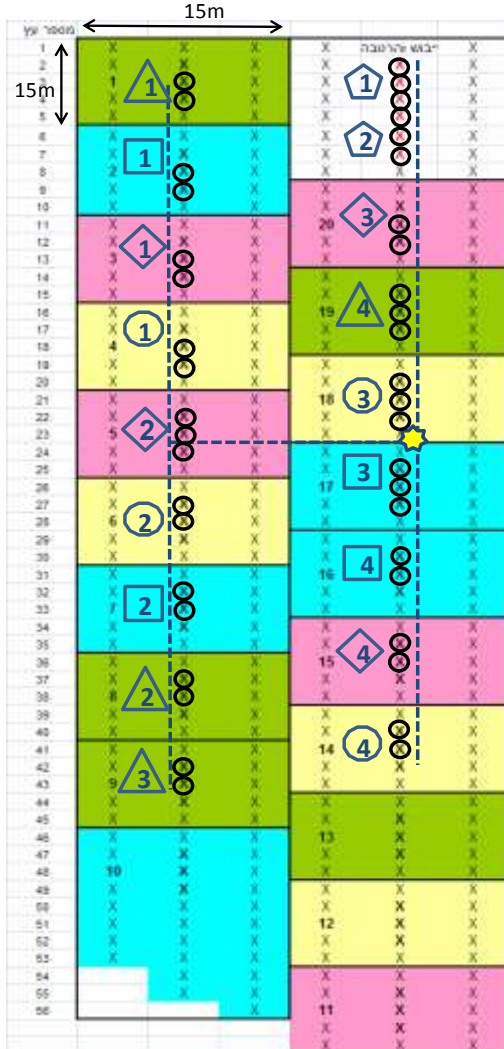
מטרות התוכנית הושגו במלואם. הפרוטוקול לניהול השקיה הורץ בהצלחה (השקיה הופעלה לפי החיישנים במקביל לניהול שנעזר בפוטנציאל מים בגזע). בניסוי זה (על אדמה כבדה) החיישני רטיבות נפחית מסוג אקו היו פחות אמינים מהאחרים. ניתוח של וריאביליות של נתוני טנסיומטרים ודנדרומטרים תוך התחשבות במחיריהם מראה שלפי הניהול המוצע כאן לדנדרומטרים יתרון. מתוכנן הרצה של המערכת בפוטנציאל מים בגזע יותר שלילי בשנה הבאה ע"מ לאתגר את הפרוטוקול לניהול השקיה, ולנסות לחסוך מים בתקופה שהיבול לא רגיש לעקת מים מתונה.

**ב. מבוא**

בעשור האחרון חל פיתוח מואץ בשטחים הנטועים באפרסק/נקטרינה בצפון. הנטיעות התמקדו בזני אמצע וסוף העונה, חלק גדול מהנטיעות ניטעו במשקים הקיבוציים על שטחים שהתפנו מגידולי שדה ותפוחים והמטעים הראו אלטרנטיבה ראויה. באזור הצפון נטועים היום כ-25,000 דונם אפרסק/נקטרינה המהווים כ-50% מסה"כ הנטיעות בישראל. גם בשנות המשבר שעברו על הענף ב-2004-2007 האזור היחיד שנשאר באותו היקף שטח נטוע הוא הצפון. כל יתר האזורים קטנו מאד עקב עקירות מסיביות. מנת ההשקיה העונתית במטעים אלו היא כ-650 קוב לדונם לשנה, כלומר באזור הצפון מדובר ביותר מ-16 מיליון קוב מים בענף זה בשנה. ייעול השימוש במים יכול להוביל לחסכון במים מחד ולאפשרות לנטוע עוד שטחי מטעים, מאידך, דבר שישפר את ההכנסות של חקלאי הצפון. המלצות ההשקיה של שה"ם מכילות טבלאות מקדמי השקיה או מנות השקיה המתייחסות להתאדות ממוצעת רב שנתית כאשר ההמלצות מתייחסות למטע מיצג מבחינת גודל עץ, עומס יבול ויעילות השקיה. במקומות בעייתיים ובמשקים מתקדמים המעוניינים לשפר את יעילות ההשקיה ע"י השקיה פרטנית של על חלקה החקלאים מודדים או מזמינים מדידות של פוטנציאל מים בגזע במשך העונה. תוצאות אלה משמשות לכיוון עדין של ההשקיה – כאשר יש חריגה מעבר לסף פוטנציאל המים מעלים את מקדם ההשקיה וכאשר יש עליה משמעותית בפוטנציאל המים מורידים את המקדם. מדידות פוטנציאל מים בגזע בהיקף הנכון לבקרת השקיה דורשות צוות מיומן וזמן עבודה רב. אומנם תא הלחץ נייד וברמה הניסויית מוביל להשקיה מדויקת ויעילה, אך השיטה מסורבלת. לעומת זאת קיימים מספר חיישנים שמודדים תכולת או פוטנציאל מים בקרקע ובצמח, וחיישנים שמודדים התכווצות עלים וגזעים. עבודות בעולם הראו שניתן להשקות לפי חיישנים אלו בתנאי שיש למה לייחס את המדידות. בארץ נעשו ניסויים עם שיטות אלה ונמצא שאכן חלק מהחיישנים מראים קשר טוב עם פוטנציאל מים בגזע. אבל עוד לא פותחו פונקציות לקשר בין השניים. במטרה למלא חלל ידע ולסייע בפיתוח ממשק השקיה מושכל, התבצע ניסוי לבחינת חיישנים רציפים כאמצעי חליפי או משלים למדידות פוטנציאל המים בגזע ע"י תא לחץ. ניסוי ההשקיה נבנה כך שתכנית ההשקיה בו התבסס על טבלת מקדמי ההשקיה של שה"ם ובכל טיפול הותאמו מקדמי ההשקיה על פי חישן אחר (טנסיומטר, דנדרומטר, מד רטיבות קרקע נפחית ופוטנציאל המים בגזע כטיפול ביקורת). בשנה הראשונה בנינו את הניסוי כולל רכישה והתקנת מערך החיישנים וניתנה השקיה אחידה שבחנה את התגובה של החיישנים. בשנה השנייה בוצע בקרת ההשקיה ע"י החיישנים כאשר בכל טיפול נבדק גם פוטנציאל המים בגזע (המדד המקובל כיום).

### ג. עיקרי הניסויים בתקופת הדו"ח

ניסוי השקיה נבנה במטע נקטרינה בכפר חרוב ברמת הגולן. מרחקי נטיעה 5X3 מ' וכיוון השורות צפון-דרום. נבחרו 6 שורות עצים באזור אחיד של המטע והשטח חולק לחלקות ובלוקים כמתואר באיור 1. בכל אחד מחמשת הבלוקים הוצבו ארבעה טיפולים, אחד לכל סוג בקרת השקיה. חלקה נוספת הוגדרה כחלקת ייבוש והרטבה, שבו נעשה ניסוי לקבוע רגישות של החיישנים למחזורי ייבוש והרטבה. בשנה הראשונה נעשתה הרצה של הניסוי ע"מ לבחון שאין הבדלים ביבולים בשטח ולהתקין,



1	אדום	טנסיומטר
2	ירוק	מד רטיבות
3	כחול	דנדרומטר
4	צהוב	רא לחץ
5	סגול	מחזור ייבוש

איור 1. חלוקת המטע לחלקות ובלוקים לניסוי. מיקום חיישני זרימה בגזע מסומן בעיגול. מספר חלקה מופיע. 3 עצים מרכזיים הם עצי שקילה ומדידה.

להריץ וללמוד את החיישנים השונים בניסוי. בנוסף, ביצעו מחזור ייבוש והרטבה. בשנה השנייה הורץ פרוטוקול השקיה החל מתחילת חודש יולי ואילך. בנוסף התבצע עוד שלושה מחזורי ייבוש בחלקים שונים של העונה כדי לבחון את היציבות והאיכות של הקשר בין הפרמטרים הנמדדים לבין פוטנציאל מים בגזע.

המערכת המרכזית של הניסוי נרכש מחברת נטפים לאחר מכרז מתאים. הם התקינו בתאריך 29.4.2010 מערכת Irriwise התומכת בשידור לאינטרנט של נתונים מהחיישנים שנרכשו מהם והותקנו בשטח. נתונים אלו נכנסים למערכת תוכנה המאפשרת גישה לנתונים כמספרים, גרפים והורדתם לקבצי אקסל. חברת נטפים עקב אחר הניסוי ע"מ לוודא שהציוד עבד כמו שצריך, אך הבעיות במערכת הצטברו בשנה השנייה וחלק מהחיישנים יצאו מכלל פעולה (ראה בהמשך).

החיישנים הבאים הותקנו בשטח:

#### טיפול טנסיומטרים:

עומקים 30 ו-60 ס"מ - 2 חיישנים לעומק לחזרה ב-5 חזרות (20 יחידות)

עומק 90 ס"מ - חיישן אחד לכל אחד מ-5 החזרות

טיפול חיישן רטיבות נפחית Decagon EC-5

רטיבות נפחית בטכנולוגיית capacitance/frequency domain

- Irriwise עם שידור. הפריסה זהה לטיפול טנסיומטרים

(כלומר 25 חיישנים)

טיפול דנדרומטרים - 2 לחזרה X 5 חזרות - אחד

לעץ - גם מחובר ל-Irriwise - חיישנים מסופקים ע"י חברת רותם.

בנוסף לני"ל בחלקת ייבוש והרטבה – 6 עצים – בכל עץ הותקנו כל החיישנים – 3 טנסיומטרים, 3 מדי רטיבות נפחית, ודנדרומטר אחד (7 חיישנים X 6 חזרות=42 חיישנים).

מערכת נוספת הותקנה ע"י המשתתפים ממרכז וולקני. המערכת כוללת אוגר נתונים מסוג CR1000 ומולטיפלקסר תוצרת חברת Campbell Sci עם מצברים, טעינה סולארית וערכת תקשורת סולארית. הותקנו חיישני זרימת מים בגזע מסוג "דיסיפצית חום" המכונה "גראנייר". החיישנים הוחדרו לגזעים של 2 או 3 עצים ב-16 מתוך 20 החלקות של הניסוי (4 בלוקים, ראה איור 1) ולששת העצים בחלקת "ייבוש והרטבה (סה"כ 42 חיישנים). הותקנה תחנה מטאורולוגית על תורן בשטח הכוללת מדי קרינת שמש (Kipp and Zonen CM11), טמפרטורה ולחות אוויר (Campbell HMP45), ועוצמת רוח (MetOne), שהתחברה ג"כ לאוגר נתונים הני"ל.

שיגרת הניסוי כללה מדידות פעם בשבוע של פוטנציאל מים בגזע בצהריים (עלה אחד משני עצים בכל אחד מ-5 החזרות מכל טיפול = 80 עלים + עלה לעץ בחלקת ייבוש) וקוטר של 20 פרות מהעצים הני"ל (400 פרות).

#### פרוטוקול השקייה:

השקייה התבצעה דרך מחשב השקייה. בשנה הראשונה ובתחילת השנה השנייה ההשקייה היתה לפי טבלאות מקובלות להשקיית נקטרינה – כלומר טבלאות של מקדמי השקייה לפי עשרת (10 ימים), מופעל על נתוני התאדות פוטנציאלית כפי שנמדדה באזור, ובמקרה שלנו בתחנת הנסיונות אבני איתן הנמצאת 12 ק"מ צפון מזרחית לאתר הניסוי ובערך באותו גובה מעל פני הים.

כזכור, החל מיולי 2011 הפעלנו פרוטוקול לניהול השקייה ע"פ החיישנים. מכיוון שלקראת סוף יוני היינו במצב הרצוי של פוטנציאל מים בגזע בכל הטיפולים, 9 באר, נלקחה עבור כל פרמטר הממוצע של השבוע האחרון של יוני כערך התחלתי. לפי השיפועים של המחזור ייבוש והרטבה שהרצנו ביוני-אוגוסט 2010 (ראה טבלה 1), נקבעו ערכי סף ל-8 ו-10 באר. לקראת סוף כל שבוע נעשה ניתוח של הנתונים מהשבוע הקודם. כאשר ערך ממוצע של חיווי חיישן בסוף השבוע הגיע לאחד הגבולות הני"ל המנה היומית של הטיפול של אותו חיישן שונה במ"מ אחד לכיוון המתאים שיתקן לכיוון 9 באר.

#### תקלות ועמידות של החיישנים:

למרות שהייתה חוזה לטיפול בחיישנים של IRRIWISSE היו תקלות בחלק ניכר מהחיישנים ובשנה השנייה בגלל עומס המדידות, לא דיווחנו מספיק לנטפים ואלה לא תוקנו. זיהוי תקלה הייתה לפי בדיקת הנתונים בסוף כל שבוע. אם הנתון חרג מהתחום הסביר נרשם תקלה. מילוי מים בטנסיומטרים כן נעשה ע"י הטכנאי של מו"פ צפון שהגיע לשטח פעם בשבוע. כתוצאה מזה שלא נעשו תיקונים בשנה השנייה, ניתן לקבל הערכה על עמידות החיישנים בתנאי שדה לפי מספר התקלות הרשומות בסוף הניסוי. בחלקת הטנסיומטרים היה רק טנסיומטר אחד (מתוך 25) תקול, ובחלקת ייבוש והרטבה לא היו טנסיומטרים תקולים. בחלקת ECO, 17 מתוך 25 מדי רטיבות נפחית היו תקולים ובחלקת ייבוש והרטבה 3 מתוך 12. בחלקת דנדרומטרים לא היו דנדרומטרים תקולים ובחלקת ייבוש והרטבה אחד מתוך 6 היה תקול. מהני"ל ברור שהחיישן הכי בעייתי בשטח הוא ה-

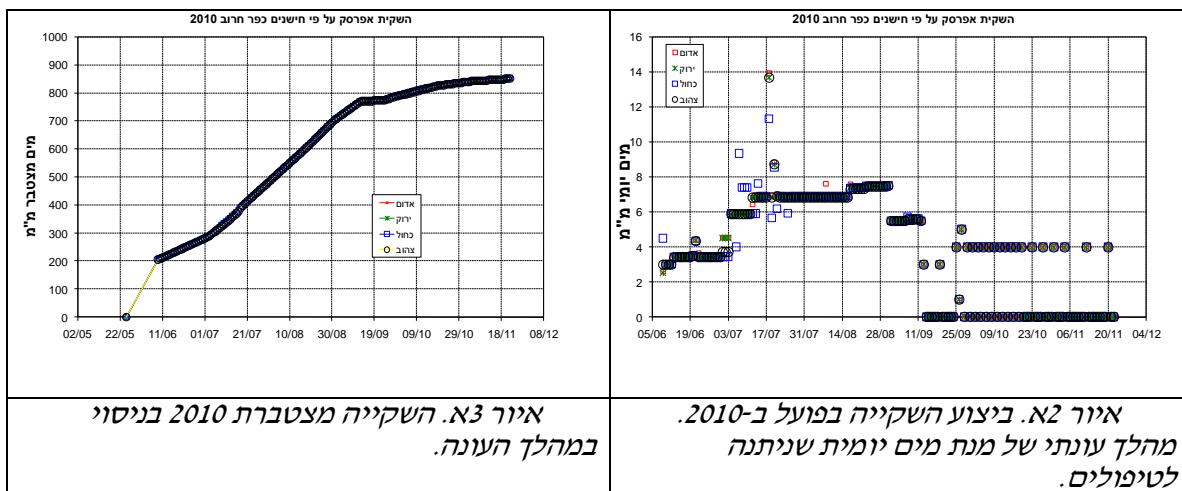
ECO ובהמשך נבדוק עם נטפים את אופי התקלות, ע"מ למנוע מצב כזה בהמשך. מתוך שיחות עם חוקרים אחרים נראה שבאדמה כבדה חיישנים מסוג אקו בעייתיים.

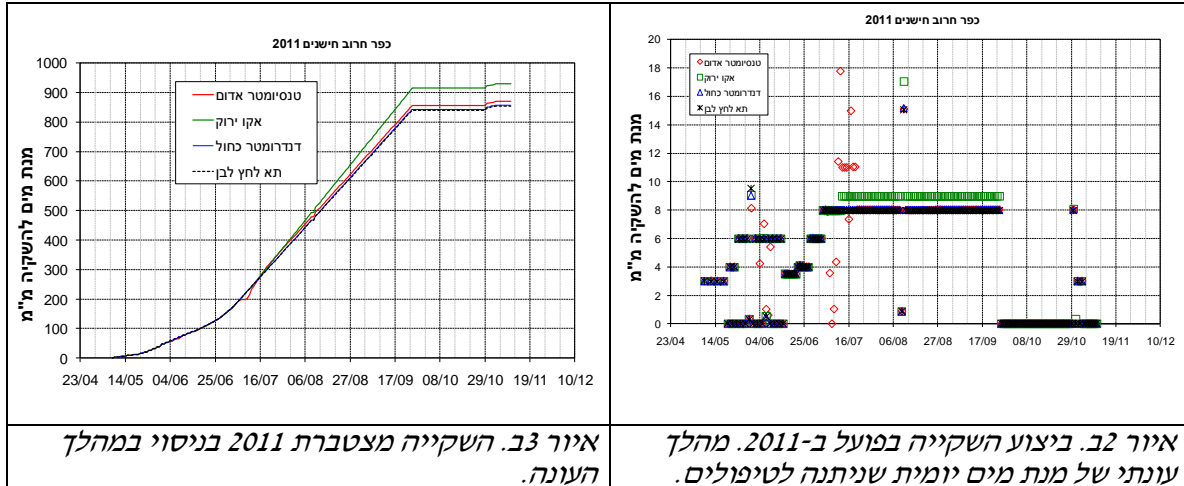
### פנולוגיה ומועדי קטיף

בד"כ אנחנו לא מתעדים את הפנולוגיה בניסויים בנקטרינה, ובמיוחד שלא הפעלנו טיפולי השקייה בתחילת העונה. אנחנו מבחינים בין שלב א', ב', וג' בהתפתחות הפרי. שלב ב' נגמר בד"כ באיזור סוף יוני תחילת יולי ואז מתחיל שלב ג'. במעבר בין שלב ב' לשלב ג' שינינו להשקייה מלאה ע"מ לאפשר מילוי פרי נאה. מועדי שלב ג' היו החל ב - 12/7/2010 ו- 4/7/2011. מועדי הקטיף היו: 31/8/2010 ו- 8/9/2011.

### **ד. תוצאות, מסקנות והשלכותיהן**

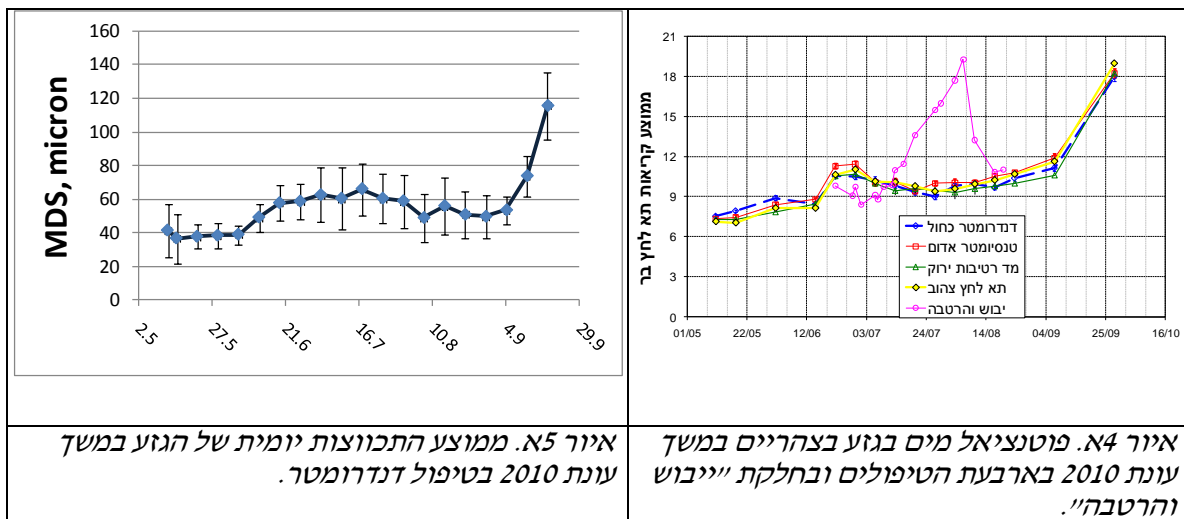
איורים 2 ו-3 מראים את ביצוע השקייה בפועל בניסוי במשך העונות. ב-2010 עד לאמצע ספטמבר ניתנו כ-780 מ"מ השקייה בטיפולים השונים וההבדלים ביניהם קטנים ביותר. ההשקייה היתה לפי טבלאות מקובלות (של שה"ם) להשקיית נקטרינה. לאחר מכן מנת השקייה היומית ירדה כמקובל אך בגלל העדר גשמים ניתנו עוד כ-80 מ"מ עד אמצע נובמבר. ב-2011 ההשקייה הייתה זהה בטיפולים עד חודש יולי כשהתחלנו לתקן את ההשקייה לפי חיוויי החיישנים. החל מה-7 ליולי קרתה תקלה בהשקייה בחלקת הטנסיומטרים. התקלה אותרה לאחר כמה ימים ומנת המים הושלמה. ב-13 ליולי זוהתה ירידה ברטיבות מים נפחית בחלקת ה-ECO. בהמרה לפוטנציאל מים בגזע התוצאה הצביע על ירידה של באר, ולכן המנה שם הועלתה ע"י הוספת מ"מ למנת השקייה. בהמשך ערכי רטיבות נפחית התאימו לערך הרצוי ולכן נשארנו עם המנה המוגדלת בטיפול זה. בסופו של דבר עד ה-15 לספטמבר ניתנו 760 מ"מ בטיפולים "תא לחץ" ו"דנדרומטר", 775 מ"מ בטיפול "טנסיומטר" ו-825 מ"מ ב"ECO", או הבדלים של עד 8.5%.

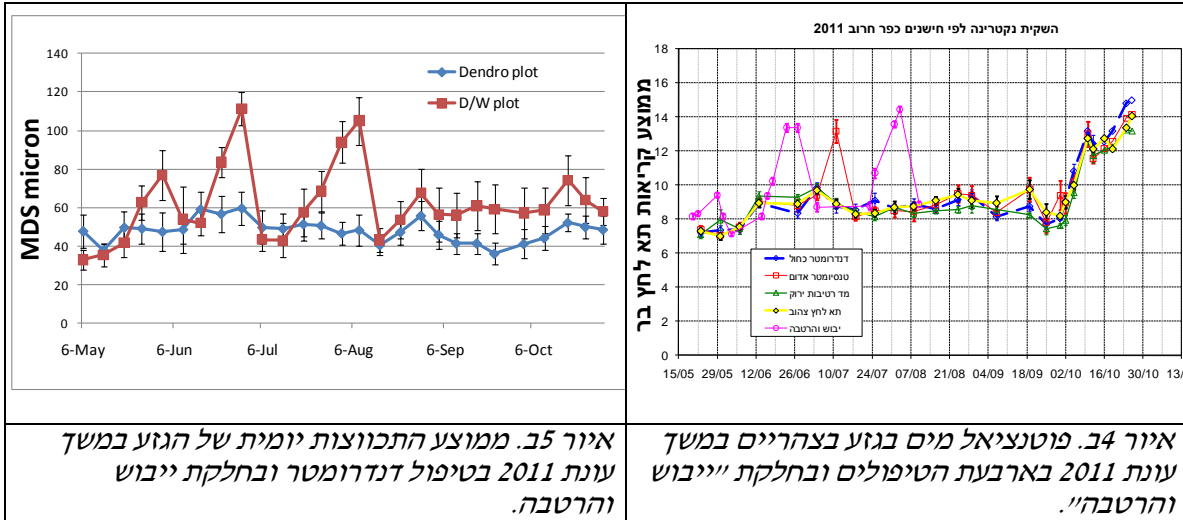




פוטנציאל מים בגזע במהלך העונה מובא באיור 4 לפי מעקב שבועי. ביאור 4בי ניתן לראות שההשקייה המתקנת לפי החיישנים הובילה לערכים שבין 8 ל-10 באר בין יולי לספטמבר. אומנם התוספת להשקייה בטיפול ECO (מד רטיבות נפחית) הורידה את הפוטנציאל השלילי, אך הוא לא חרג מהגבולות שהצבנו, 8 ו-10 באר, עד סוף ספטמבר.

מחזורי ייבוש והרטבה בוצעו בשתי העונות. לקראת סוף יוני בשנה הראשונה (2010) נותקה חלקת "ייבוש והרטבה" מהמערכת השקיה המרכזית. בגלל תקלה בהתחלה פוטנציאל מים שלילי בגזע שם ירד, אבל לאחר מכן הוא עלה במשך חודש באופן תלול עד לערכים קרובים ל-20 בר (איור 4א). מהלך הייבוש הזה איפשר לנו לקבוע את התגובה של החיישנים





איור 35. ממוצע התכווצות יומית של הגזע במשך עונת 2011 בטיפול דנדרומטר ובחלקת ייבוש והרטבה.

איור 34. פוטנציאל מים בגזע בצהריים במשך עונת 2011 בארבעת הטיפולים ובחלקת ייבוש והרטבה.

השונים לייבוש. התגובות הנ"ל תורגמו לשיפועים ושינויים יחסיים ששימשו לקביעת ספים לחיישנים בשנה השנייה (סיכום של תוצאות הניתוחים מובא בטבלה 1).

טבלה 1. ניתוחי רגרסיה עבור הנתונים שנאספו בתקופת ההתייבשות בארבעת מחזורי ייבוש והרטבה שהתבצעו בניסוי. התוצאות העיקריות הם השינוי בפוטנציאל מים בגזע (ביחידות באר) עבור שינוי בחייוי החיישן. עבור חיישן רטיבות נפחית מדובר בשינוי עבור כל אחוז רטיבות, כאשר לטנסיומטר למיליבר ועבור הדנדרומטר מיקרון התכווצות יומית. ערכי מקדם המתאם גם מובאים.

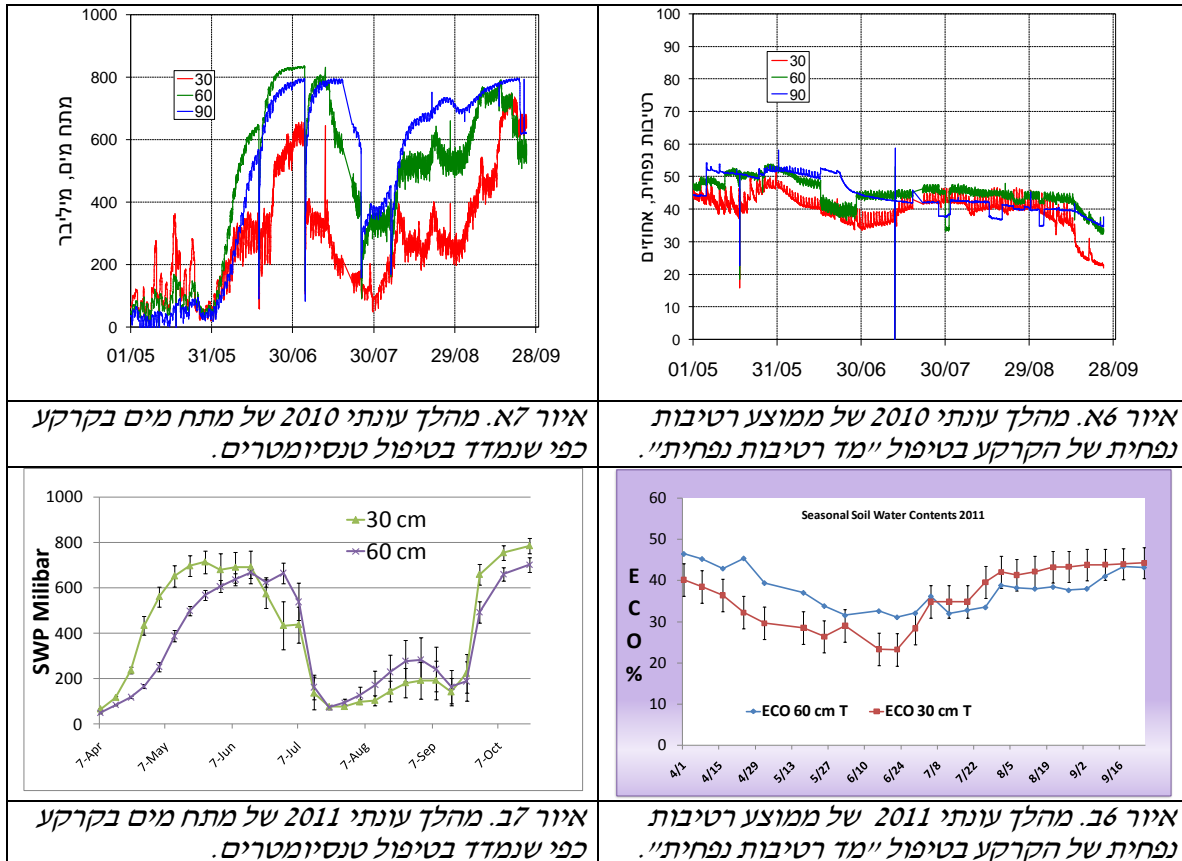
Year	Cycle	Max SWP Bar	unit:	Slope (SWP change, bar per unit)				Dendro MDS Micron
				ECO (VWC)		Tensiometer		
				30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	
				%	%	mbar	mbar	
2010	1	19.5		-0.19	-0.209	0.0040	0.0046	0.0512
2011	1	9.5		-1.22	-0.256	0.0127	0.0059	0.0210
2011	2	13.5		-1.61	-0.581	0.0397	0.0285	0.0821
2011	3	15		-1.89	-0.495	0.0385	0.0153	0.0732
			<b>Average</b>	<b>-1.23</b>	<b>-0.385</b>	<b>0.0237</b>	<b>0.0136</b>	<b>0.0569</b>

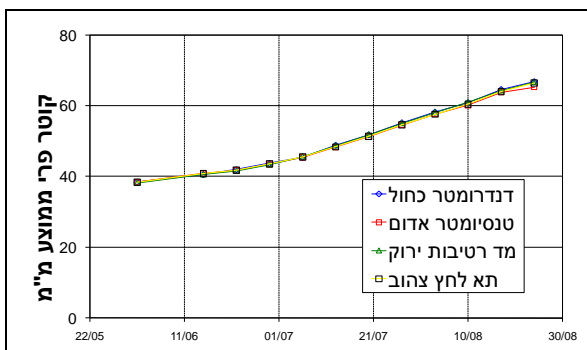
Year	Cycle	Start date	End date	r2	r2	r2	r2	r2
2010	1	6.7	19.7	0.92	0.94	0.94	0.89	0.77
2011	1	20.5	3.6	0.93	0.96	0.91	0.97	0.59
2011	2	14.6	4.7	0.89	0.93	0.89	0.91	0.90
2011	3	23.7	10.8	0.97	0.98	0.96	0.96	0.84



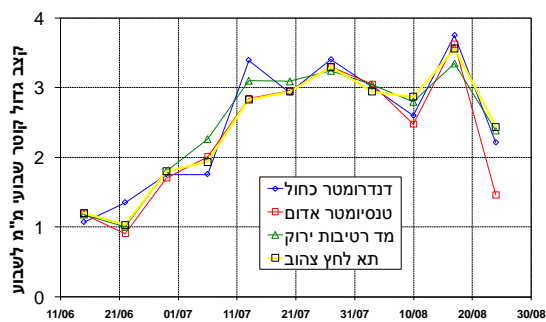
אחד החיישנים המועמדים להחלפת מדידות תא הלחץ הוא הדנדרומטר, כאשר הפרמטר החשוב שניתן לחלץ ממדידות ממנו הוא התכונות יומית MDS, המובא באיור 5. הסתכלות ראשונית מגלה את הדמיון הרב בין המהלך העונתי של MDS לפוטנציאל מים. איורים 6 ו-7 מביאים את המהלכים העונתיים של שני חיישני רטיבות קרקע – חיישן רטיבות נפחית (איור 6) ומתח מים בקרקע שנמדד ע"י טנסיומטרים (איור 7). חלק מהמהלך העונתי של מתח מים (טנסיומטר) איננו משקף את המהלכים האחרים ונצטרך לתת את הדעת בנושא.



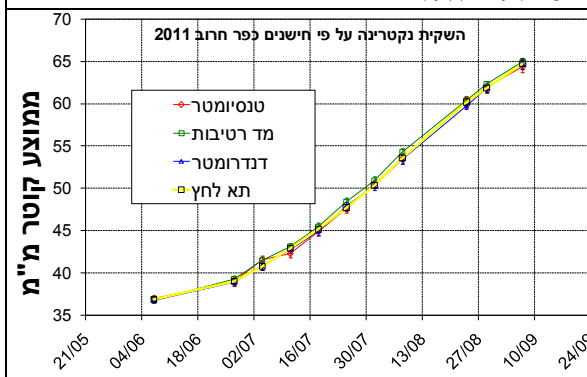
המהלכים העונתיים של קוטר פרי וקצב גידול פרי (שניהם מאותם מדידות) מובאים באיורים 8 ו-9. הצורה של איור 9 גם מזכיר את המהלכים שקיבלנו עבור פוטנציאל מים (איור 4) וקוטר גזע (נתונים לא מובאים). אבל לגבי תוספת ההשקיה בטיפול ECO (רטיבות נפחות) ב-2011 (איור 8ב) קשה לזהות תגובה בקצב גידול פרי. איורים 10 ו-11 מראים יבולים והתפלגות גודל פרי. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים.



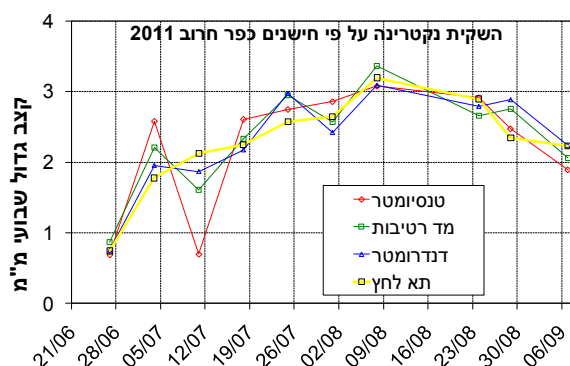
איור 9א. התפתחות עונתית 2010 של קוטר פרי בטיפולים השונים.



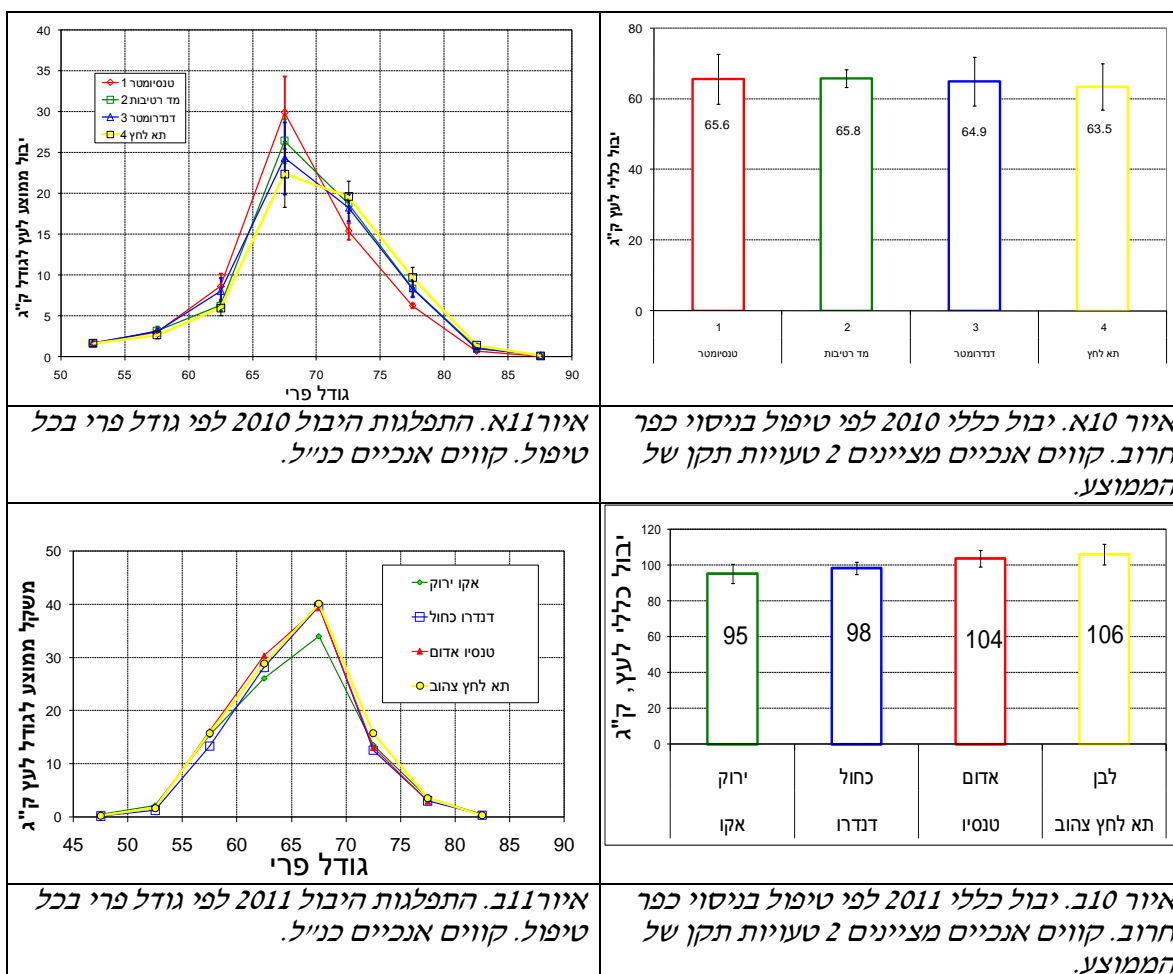
איור 8א. מהלך עונתי 2010 של קצב גידול פרי שבועי בטיפולים השונים.



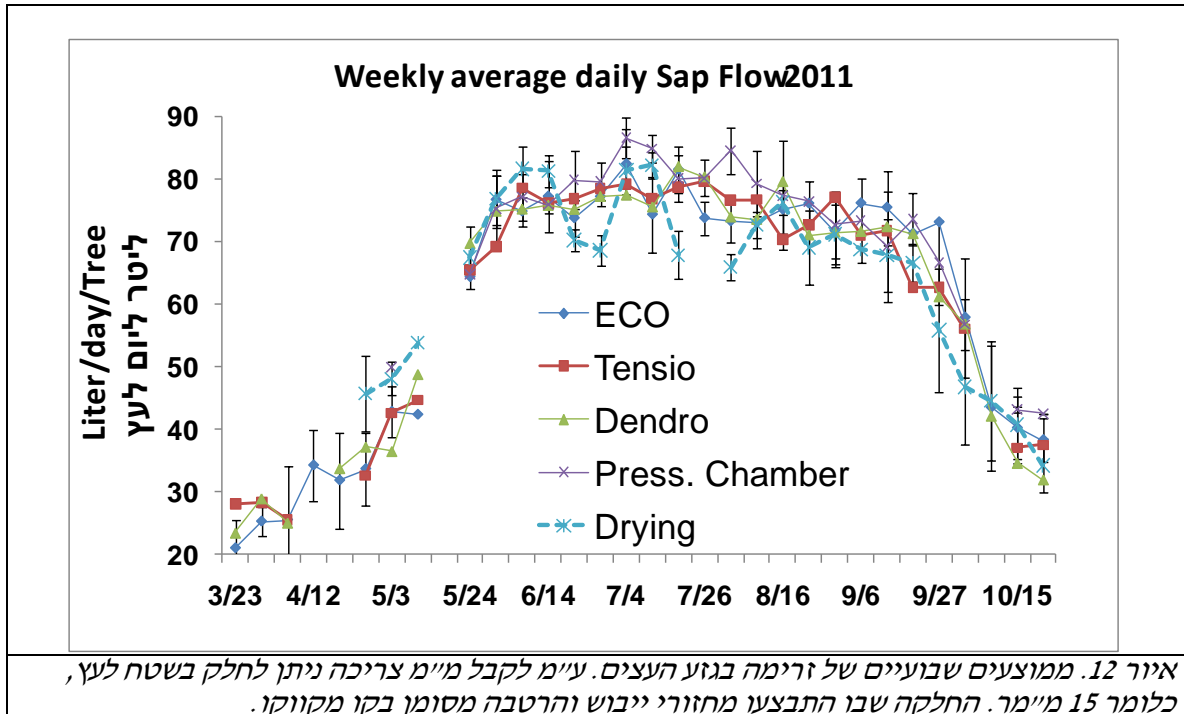
איור 9ב. התפתחות עונתית 2011 של קוטר פרי בטיפולים השונים.



איור 8ב. מהלך עונתי 2011 של קצב גידול פרי שבועי בטיפולים השונים.



תוצאות נוספות התקבלו מהמערכת שמדדה זרימת מים בגזע ומהתחנה המטאורולוגית. בשנה הראשונה (2010) מדידות זרימה בגזע לא הצליחו בגלל בעייה טכנית; ההתקנה של המערכת התבצעה באמצע אוגוסט ובעיות באספקת חשמל וטעינה סולארית גרמו להפרעות במדידות זרימת מים בגזע. איור 12 מביא את המהלך העונתי של זרימה בגזע העצים שנמדד באופן רציף במשך כל העונה ב-2011. כל נקודה היא ממוצע של לפחות 3 עצים במשך שבוע ימים. הערכים מובאים בליטר לעץ ליום בהסתמך בכיול מדי זרימה אלו שנעשה בשני מינים אחרים בחממה שלנו ובתוספת הנחה לגבי ההתפלגות של מהירות הזרימה בגזע. בשיא העונה נמדד כ-5.5 מ"מ צריכה ליום, כאשר ההשקיה היתה 8 או 9 מ"מ ליום או פחות מ-70% צריכת מים יחסית להשקיה. אנו ממשיכים לבדוק את הנתונים האלה, וגם מבצעים כיול לנקטרינה. את ההתפלגות של זרימה בגזע נמדוד בקיץ 2012. התחנה המטאורולוגית עבדה טוב. על בסיס נתונינו חושב התאדות פוטנציאלית לפי נוסחת פנמן-מונטית כל שבוע. בהשוואה לנתוני אבני איתן ההתאדות הפוטנציאלית הייתה נמוכה. תוצאה זאת נבעה כנראה ממיקום לא מתאים של המד רוח, שהורכב כחצי מטר מעל לנוף ונתן ערכים נמוכים בכ-40% מאלו שמאבני איתן.



#### שונות מדידות החיישנים, מחירים ועדיפויות

מכיוון שהפרויקט אמור לתת תשובה לא רק לגבי אופן ניהול ההשקייה לפי חיישנים, אלא השוואה בין חיישנים נדון בנושא פה. קודם כל, החיישני "אקו" המודדים רטיבות קרקע נפחית לא עבדו טוב, גם בגלל ריבוי תקלות וגם בגלל שהם הראו על מצב יבש שכנראה לא היה נכון, שהובילה לתוספת מים משמעותית בטיפול זה (כמוזכר לעיל). נראה שחלק מהבעיה הוא אי התאמת חיישנים אלו לאדמה כבדה. היה ראוי שחברת נטפים היה מזהיר אותנו מראש לגבי בעיה זאת, אבל ייתכן שהם לא ידעו עליה מראש.

כל המערכת של החיישנים (חיישני "אקו", טנסיומטרים ודנדרומטרים) נרכשו כחבילה מחברת נטפים עם מערכת איריוויז, הכוללת שידור הנתונים לאינטרנט, במכרז בתחילת הפרוייקט. המכרז גם כלל התקנה כך שאין לנו מידע על נוחות ההתקנה של החיישנים השונים.

נשאר לדון בחיישני טנסיומטרים מול דנדרומטרים. מחירי המערכות כפי שמופיע במכרז שהוצא ב-2011 ע"י מו"פ צפון רשומים בטבלה 2. מסיכום המחירים יוצא שעלות מערכת דנדרומטר בודד הוא בערך פי שניים ממחיר מערכת טנסיומטר.

על מנת להשוות בין החיישנים חושב, על בסיס תוצאות ממחזור ייבוש והרטבה, התגובה של שני סוגי החיישנים עבור שינוי בבר אחד של פוטנציאל-מים-בגזע מערך של 10 עד ערך של 12. עבור שלב ב' של גידול הפרי יצא שממוצע השינוי עבור טנסיומטר בעומקים 30 ו-60 ס"מ היה 26 מיליבר לבר. עבור הדנדרומטרים השינוי היה 13 מיקרון לבר. הערכים הנ"ל הם עוצמת האות שניתנת על ידי החיישן.

הרעש הוא סטיית התקן שהתקבל מהחיישנים השונים בתוך החלקות. עבור שני הערכים הנ"ל סטיות התקן הם 90 מיליבר ו-21 מיקרון. יוצא שהיחס אות לרעש, שהוא הפרמטר החשוב לאיתור שינוי במצב המים, הוא הרבה יותר גדול עבור הדנדרומטר. על מנת לצמצם את היחס אות לרעש ניתן להוסיף חזרות של החיישנים, ואז טעות התקן של הממוצע מצטמצם לפי 1 חלקי השורש של מספר החזרות. ניתן לחשב אם כך כמה חזרות של טנסיומטרים צריכים על מנת לקבל אות לרעש זה במדידות טנסיומטרים מול דנדרומטרים. יוצא שלשלב ב' נצטרך 4 טנסיומטרים ע"מ להגיע ליחס אות לרעש של דנדרומטר אחד. המשמעות ברורה, שאפילו שדנדרומטר אחד עולה פי 2 מטנסיומטר, בגלל הוריאביליות במדידות טנסיומטרים יותר כדאי להשתמש בדנדרומטרים.

כמובן שהדיון לעיל שייך רק למטע הנבחן ובצורת ניהול ההשקיה שמוצע פה, כלומר כאשר אנו מביאים את המטע לפוטנציאל מים בגזע הרצוי לפני תחילת שלב ב' ואז בוחנים את השינויים בחיווי החיישנים בהמשך לפי השינוי בחיישן שהתקבל בחלקת ייבוש והרטבה באותו מטע.

טבלה 2. מחירים של מערכות irriwise דומים לאלה שבניסוי שלנו ממכרז ב-2011. N מציין מספר החיישנים שנרכשים עבור אותו הסוג

Irriwise unit prices, 2011		
Product	Number needed	Price, IS
Solar panel system	1	14200
GPRS communications	1	3500
Irriwise tensiometer antenna/xmt	N	2810
Tensiometer	N	230
Plantwise sensor (dendrometer)	N	2930
Plantwise antenna/xmtr	N	2080
Plantwise clip	N	660
Plantwise extension cable	N/2	550
Totals		
Irriwise tensiometer	N	3040
Plantsense dendrometer	N	5945

#### מסקנות:

בינתיים נבחן היכולת לקיים פוטנציאל מים שלילי בגזע באמצע היום בין 8 ל-10 באר בין תחילת יולי לסוף ספטמבר ע"י הפרוטוקול הבא:

- הבאת המטע לפוטנציאל מים של 9 באר בסוף יוני
- קביעת השינוי בפוטנציאל מים בגזע עבור שינוי נתון בחיישנים. הדבר נעשה בחלקה באותו מטע ע"י ייבוש והרטבה במשך חלק מהקיץ.
- קביעת ספים לפוטנציאל מים לפי הנ"ל.

- עיבוד של הנתונים פעם בשבוע. סינון עבור נתונים חריגים ותקלות. החלטה על מקדם השקייה לשבוע הבא.  
הפרוטוקול עבד לפי שביעות רצוננו ברמה הבסיסית. יש לנו חשש שהפרוטוקול גס מדי וואו שהמטע הזה לא רגיש מספיק לתוספת מים כאשר הפוטנציאל 9 באר. לכן ננסה שנה הבא (בפרוייקט המשך) רמת פוטנציאל יותר גבוהה בחלק מהעונה. פרטים על תוכנית ההמשך נמצאים בהצעה המלאה שהוגשה למדען להמשך המחקר.

**ה. פרסומים מדעיים**

אין בינתיים.