

דו"ח מסכם לתכנית מחקר מספר 304-0469-13

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

שבתאי כהן¹, יוסי טנאי¹, עמוס נאור⁴, ויקטור אלחנתי², אור שפירא⁴, יוני גל³, ומוטי פרס⁴

¹המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

²המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי

³שה"מ, משרד החקלאות

⁴מו"פ צפון

אוגוסט 2014

אב תשע"ד

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים לא מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר _____

רשימת פירסומים:

1. Paudel, I. 2012. Quantifying sap flow responses to soil and plant water status and climate in nectarine trees. MSc. Thesis. Hebrew Univ. of Jerusalem. In English
 2. Nevo, E., Wallach, R., Cohen, S. 2013. Irrigation based on sensing of plant and environment in deciduous orchards. Poster at CARESS conference, Weizmann Inst.
 3. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2013. A simple robust model of nectarine orchard sap flow, transpiration and capacitance based on climate and mid-day stem water potential. Poster presented at CARESS Conference, Weizmann Inst., and at the Sap flow workshop in Ghent, Belgium.
 4. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2013. Quantifying sap flow responses to soil and plant water status and climate in nectarine trees. *Acta Horticulturae*, 991: 433-440.
 5. Paudel, I., Kanety, T., Cohen, S. 2013. Inactive xylem can explain differences in calibration factors for thermal dissipation probe sap flow measurements. *Tree Physiology* 33:986-1001.
 6. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2014. Modeling nectarine tree water use from climate and mid-day stem water potential. *Tree Physiology* (in revision).
- נב, אייל. 2014. השקיית נקטרינה באמצעות טנסיומטרים, מדי רטיבות קרקע נפחית ודנדרומטרים רציפים במשטר השקיה גרעונית לשלב התקשות הגלעין. עבודת גמר מוגשת לאוניברסיטה העברית ב-ם (הפקולטה לחקלאות).

תוכן העניינים :	מספר עמוד
תקציר	2
מבוא	3
מטרות המחקר	4
פירוט עיקרי הניסויים בתקופת הדו"ח	4
תוצאות ודיון	6
פירסומים מדעיים	18
סיכום עם שאלות מנחות	20

תקציר

הצגת הבעיה:

חיישנים לבקרת השקיה במטעים כוללים תא לחץ למדידת פוטנציאל מים בגזע בצהריים, מדי רטיבות קרקע נפחית, טנסיומטרים למדידת פוטנציאל מטריצי בקרקע ודנדרומטרים להתכווצות הגזע. בקרת השקיה באמצעות תא לחץ הוא תהליך מסורבל. השימוש בחיישנים רציפים נפוץ אבל לא פותח פרוטוקול לבחירת חיישנים, פריסתם במטע, וניהול השקיה לפיהם.

מטרות המחקר כפי שהופיעו בהצעת המחקר:

1. פיתוח פרוטוקול לשימוש בחיישנים רציפים. 2. בחינת התאמתם כתחליף לתא הלחץ.

שיטות העבודה:

הניסוי התבצע במשך 4 עונות השקיה (2010 עד 2013) במטע נקטרינה ברמת הגולן. בניית קשרים בין חיישנים לפוטנציאל בעזרת מחזורי ייבוש והרטבה בחלקה אחת, בכל אחד משלבי גידול הפרי ולאחר קטיף. ארבעה טיפולים עם 5 חזרות שימשו לבקרת השקיה לפי 4 סוגי חיישנים החל מ-2011. השקיה התבצעה לפי מקדמים מקובלים ותיקונים לפי קריאות החיישנים ע"מ להגיע לפוטנציאל מים בגזע רצוי. ב-2012 ו-2013 נבחרו ספים שחסכו במים בלי לפגוע בפרי - פוטנציאל מים בגזע 9 באר (0.9 MPa) בשלבים 1 ו-3 והפחתת השקיה בשלב 2 ולאחר הקטיף. נמדדה זרימה בגזע לקביעת הצריכה האמיתית של מטע. נבחנו גם הקשר בין זרימה בגזע לבין פוטנציאל המים בגזע ותנאי סביבה.

תוצאות עיקריות:

נבנו קשרים בין החיישנים השונים לבין פוטנציאל המים בגזע עבור שלושת שלבי התפתחות הפרי בנקטרינה. אלה תורגמו לטבלה של ספים לתיקוני השקיה בכל שלב. חיישני קרקע לא עזרו בתקופות היבשות בגלל שחרגנו מהתחום היעיל שלהם. בטיפול הדנדרומטר השתמשנו בחיישנים במשך כל העונה. לא היו הבדלים מובהקים ביבול בין הטיפולים.

נבחנו וריאביליות ועוצמת התגובה של החיישנים לקביעת איכותם, יעילותם בשלבים השונים, וכמה חיישנים צריכים כדי לחזות פוטנציאל המים בגזע בדיוק של 1 באר (0.1 MPa).

מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:

תוכנית המחקר בוצעה לפי המתוכנן. סיכמנו על דרך לניתוח וייצוג התוצאות בגרפים שבועיים יחד עם הספים להחלטות על השקיה, שמקל על החלטות לגבי תיקונים בהשקיה. תוכניתה שלילת נתונים מהמאגר נתונים של מערכת ניטור החיישנים והצגתם יחד עם הספים המתאימים. הנ"ל יכול לשמש כפרוטוקול להשקיה יעילה במטעים כאלה.

מבוא

התוכנית הייתה המשך לפרויקט 596-0415-09 באותו שם שמומן לשנתיים במסגרת מיזם ייעול השימוש במים שפירים באזורים נעדרי חלופה. המימון לפרויקט הקודם הסתיים בסוף 2011. הדו"ח הנוכחי מכסה את כל ארבעת השנים עם דגש על השנתיים האחרונות שמומנו כפרויקט 304-0469, כלומר עונות 2012 ו-2013. חלק מדו"ח זה מבוסס על עבודת גמר של **אייל נבו** שנעשה בפרויקט בהדרכת שבתאי כהן ורוני וולך. מטרת הדו"ח הנוכחי להראות איזה עבודה נעשתה, אך היריעה קצרה מלהכיל את הדיונים הרלוונטיים לנושא ואת כל ניתוחי הנתונים. הקורא המעוניין מופנה לשתי עבודות גמר שהתפרסמו מהפרויקט – של אייל נבו ושל אינדירה פאודל. הראשונה דנה בהרחבה במדדי השקיה, אופיים, וניהול השקיה לפיהם וכוללת סקירת ספרות ודיונים מקיפים בנושאים אלה. השניה דנה בפיסולוגיה סביבתית של נקטרינה, ובמיוחד בזרימה בגזע העצים.

מנות ההשקיה בנקטרינה נקבעות לרוב על סמך נתונים מטבלאות מקדמי השקיה תוך התחשבות בנתוני התאדות מחושבת. למגדלים שמעוניינים לדייק יותר יש את האפשרות למדוד את פוטנציאל המים בגזע למרות שמדידות אלה יקרות ודורשות כוח אדם מיומן וזמין לצורך ביצוע המדידות. מצד שני, ישנן מערכות מסחריות של חיישני קרקע וצמח אשר מספקות מידע רציף על מצב המים במטע ללא צורך בנוכחות בשטח כדי לאסוף את הנתונים. כדי לעבוד עם מדידות מהסוג הזה בצורה טובה צריך לנתח את הנתונים בדרך שתייצג בצורה נכונה את מאזן המים במטע. לשם כך דרוש ידע מניסויים שעוסקים בטכניקות השימוש בכלים האלה. ישנם מחקרים שעוסקים בשאלת קביעת ספים להשקיה על בסיס מדידות אלה, ולמרות זאת שאלה זו נשארה לא פתורה עד היום. הסיבה לכך היא שמדידות החיישנים מושפעות ממספר גורמים כמו השונות המרחבית של תווך הקרקע בשדה והשפעה של המצב האקלימי באטמוספירה בזמן המדידות. בתיאוריה, מידע רציף על מצב תכולת המים בקרקע יכול לשמש ככלי לניהול השקיה אבל בפועל השיטה מסובכת ודורשת ניסיון כדי ליישמה בצורה טובה.

העבודה הזאת מסכמת מחקר שנערך במטע נקטרינה מזן "ארקטיק פרייד" ברמת הגולן על פרוטוקול להשקיית נקטרינה בעזרת נתוני חיישני קרקע וצמח.

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 כל חלקה החקלאים מודדים או מזמינים מדידות של פוטנציאל מים בגזע במשך העונה. תוצאות אלה משמשות לכיוון עדין של ההשקיה – כאשר יש חריגה מעל לסף פוטנציאל המים השלילי 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 ליחס את המדידות. בארץ נעשו ניסויים עם שיטות אלה ונמצא שאכן חלק מהחיישנים מראים קשר טוב עם פוטנציאל מים בגזע. אבל עדיין לא פותחו פונקציות לקשר בין השניים ופרוטוקול מסודר לבקרת השקיה שתיעזר בנתונים מחיישנים אלה. ידוע גם שהפונקציות עשויות להשתנות במשך העונה.

מטרות המחקר

במטרה למלא חלל ידע זה ולסייע בפיתוח ממשק השקיה מושכל, פיתחנו פרוטוקול בקרת השקיה במטעים שנעזר בחיישני קרקע וצמח אוטומטיים רציפים כאמצעי חליפי או משלים למדידות פוטנציאל המים בגזע ע"י תא לחץ. מטרות משנה היו קביעת הקשרים שבין חיווי החיישנים וערכי פוטנציאל מים בגזע, קביעת ספים לכל סוג חיישן, קביעת מספר החיישנים הנדרשים כדי לאפיין נכון את השטח שבו אנו עובדים לפי שיטות סטטיסטיות, ופיתוח כלים לעיבוד ולהצגת נתוני החיישנים הרציפים שיהוו אמצעי לקבלת החלטות בניהול השקיה. בנוסף, נמדדה צריכת מים בפועל של העצים בעזרת חיישני זרימה בגזע לצורך העמקת ההבנה שלנו של המערכת.

פירוט עיקרי הניסויים בתקופת הדו"ח

ניסויי ההשקיה נבנה כך שתכנית ההשקיה בו התבססה על טבלת מקדמי ההשקיה של שה"ם ובכל טיפול הותאמו מקדמי ההשקיה על פי חיישן אחר (טנסיומטר, דנדרומטר, מד רטיבות קרקע נפחית, ופוטנציאל המים בגזע כטיפול ביקורת). בנוסף לניסוי השקיה ובחלקה נוספת באותו מטע, התבצעו מחזורי ייבוש והרטבה ע"מ לכייל את הקשר בין נתוני החיישנים הרציפים לבין פוטנציאל המים. מחזורים אלו התבצעו בכל שנות המחקר. ב-2010 בוצע מחזור אחד כזה, בתקופת עיקר גידול הפרי ונקבעו ספים לחיישנים הרציפים לתקופה זאת. בשנים 2011, 2012 ו-2013 בוצעו מחזורי ייבוש והרטבה בכל שלושת תקופות גידול הפרי (שלב התחלקות התאים, **שלב 1**, שלב התקשות הגלעין, **שלב 2**, בו חלה האטה בגידול הפרי, ושלב התנפחות פרי, **שלב 3**), ולאחר הקטיף. בשנת 2011 ביצענו השקיה על פי כל אחד מהחיישנים הרציפים רק בשלב גידול הפרי העיקרי (שמירה על ערכים של 1 ± 9 באר פוטנציאל מים בגזע באמצע היום). בקיצים 2012 ו-2013 בוצעה השקיה על פי החיישנים הרציפים בשלושת התקופות הפנולוגיות (שלב 1, 2, ו-3) וגם לאחר הקטיף, כאשר בכל תקופה פנולוגית נקבע סף בקרת השקיה שונה על פי תוצאות מחזורי הייבוש והרטבה. מטרת הניהול הייתה לבחון ולאתגר את הפרוטוקול שפותח, ולנסות לחסוך במים ע"י הורדת פוטנציאל המים בשלב 2 ולאחר הקטיף.

בעונות 2012 ו-2013 ניהול השקיה היה כדלהלן: התחלת ההשקיה בתחילת העונה כמה שבועות אחרי הגשם האחרון כשנבחנה ירידה בתכולת מים בקרקע. כמות השקיה מינימאלית בהתחלה (כ-מ"מ ביום) ועולה בהמשך. בשלב 1 של התפתחות הפרי, המאופיינת ע"י התחלקות תאים ונמשכת עד תחילת יוני, השקיה ע"מ לשמור רמת פוטנציאל מים בגזע של 9- באר (0.9 MPa). בשלב 2 (שלב התקשות הגלעין הנמשכת עד תחילת יולי) מנות ההשקיה הופחתו במגמה להוריד את פוטנציאל המים בגזע ל-15- באר (כלומר השקיה גרעונית). בשלב 3, שלב התנפחות הפרי (שנקבע לפי התקשות הגלעין, ובפועל מתחילה בתחילת יולי), הועלתה מנת ההשקיה כדי לשמור על רמה של 9- באר. לאחר הקטיף עצרנו את ההשקיה במטרה להגיע ולשמור על ערך של 20- באר.

השטח: הניסוי התבצע במטע נקטרינה מאוחרת מזון ארקטיק פרייד (Arctic Pride) על אדמה כבדה בדרום הגולן (כפר חרוב) שחולק לחלקות ע"מ להפעיל טיפולים עם 5 חזרות. כזכור, רמת היובש נקבעה כערך של פוטנציאל מים בגזע אך בפועל בכל טיפול בעזרת החיישנים שלו. התבצעו מדידות מטאורולוגיות בשטח ע"מ לקבוע התאדות פוטנציאלית למטע, וניטור צריכת מים בעצים בעזרת חיישני זרימה בגזע העצים (42 עצים).

נבחרו 6 שורות עצים באזור אחיד של המטע והשטח חולק לחלקות ובלוקים כמתואר באיור 1 א'. בכל אחד מחמשת הבלוקים הוצבו ארבעה טיפולים, אחד לכל סוג בקרת השקיה, כאשר טיפול ההיקש (ביקורת) היה עם בקרה לפי מדידות ישירות של פוטנציאל המים בגזע לפי תא לחץ. חלקה נוספת הוגדרה כחלקת ייבוש והרטבה. איור 1 ב' מראה את ההרכב המכאני של הקרקע הכבדה לפי מדידות שעשינו. הרכב מכאני נמדד עד לעומק 90 ס"מ וההבדלים עם העומק היו מזעריים.

מערכת החיישנים (טנסיומטרים, דנדרומטרים, ומדי רטיבות נפחית) לניסוי נרכשה מחברת נטפים והותקנה ב-29.4.2010. המערכת מדגם Irriwise עם מצברים וטעינה סולארית התומכת בשידור לאינטרנט של נתונים. נתונים אלו נכנסו למערכת תוכנה המאפשרת גישה לנתונים כמספרים, גרפים והורדתם לקבצי אקסל. נחתם הסכם שרות עם חברת נטפים לאחזקת החיישנים בשטח.

החיישנים הבאים הותקנו בשטח:

טיפול טנסיומטרים: הטנסיומטרים מוקמו במרחק של 30 ס"מ מהטפטפת מתחת לחופת העץ. עומקים 30 ו-60 ס"מ - 2 חיישנים בכל עומק וחזרה ב-5 חזרות (20 יחידות), עומק 90 ס"מ – חיישן אחד לכל אחת מ-5 החזרות.

טיפול חיישן רטיבות נפחית: Decagon EC-5 חיישן רטיבות נפחית בטכנולוגיית capacitance /frequency domain - Irriwise עם שידור. פריסה זהה לטיפול טנסיומטרים (כלומר 25 חיישנים) עם אותם מרחקים מהטפטפת ואותם עומקים.

טיפול דנדרומטרים: 2 לחזרה X 5 חזרות – אחד לעץ – גם מחובר ל-Irriwise – החיישנים סופקו ע"י חברת רותם.

בנוסף לנ"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 כללה אוגר נתונים מסוג CR1000 ומולטיפלקסר תוצרת חברת Campbell Sci. עם מצברים וטעינה 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). המערכת גם מדדה חיישני תחנה מטאורולוגית שהותקנו על תורן בשטח וכללו מד קרינת שמש (Kipp and Zonen CM11), מד קרינה נטו (REBS Q7.1) טמפרטורה ולחות אוויר (Campbell HMP45), ומהירות רוח (MetOne).

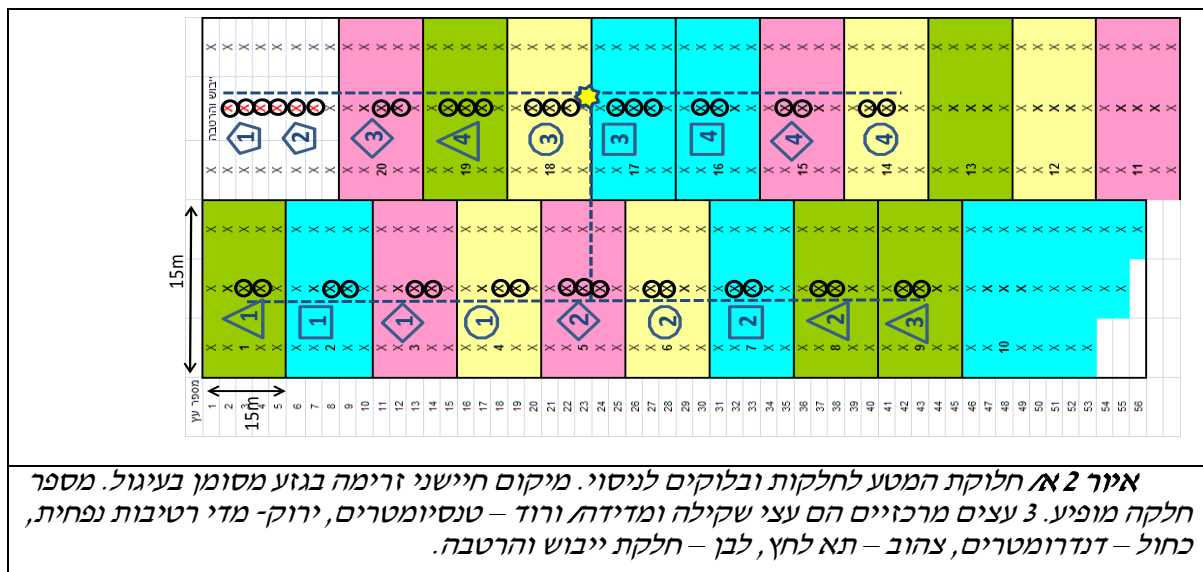
במשך תקופות קצרות הוספו עוד חיישני זרימה בגזע מסוג גראנייר לקביעת התפלגות הזרימה סביב הגזע (לפי צידוד) ומערכת עם מספר חיישני פולס חום למדידת התפלגות הזרימה עם העומק בגזע. ניסויים אלה עזרו בהמרת נתוני זרימה בגזע לצריכה כללית של העצים (ראה Paudel et al., 2013).

מדידות של קצב גידול פרי התבצעו פעם בשבוע בתקופת גדילת הפרי מאמצע יוני עד סוף אוגוסט, עונת התפתחות מואצת של הפרי. המדידות היו של קוטר של 10 פירות מכל אחד משני עצים בכל חלקה. שיגרת הניסוי כללה מדידות פעם בשבוע של פוטנציאל מים בגזע בצהריים (עלה אחד משני עצים בכל 5 החזרות מכל טיפול = 80 עלים + 2 עלים לעץ בחלקת ייבוש) וקוטר של 20 פירות מהעצים הנ"ל (400 פירות). ערכי פוטנציאל תוקנו לפי ערכי VPD כנהוג במו"פ צפון, שבו מחשבים את הערך עבור VPD של 2 kPa, על בסיס קשר שהוצג לראשונה ע"י McCutchan and Shackel, 1992. התיקון הוא באר אחד עבור כל kPa.

השקייה התבצעה דרך מחשב השקייה לפי טבלת מנה התחלתית ולאחר מכן נערכו תיקונים ע"מ לשמור על פוטנציאל מים קבוע ושווה בכל הטיפולים לפי הפרוטוקול שפיתחנו.

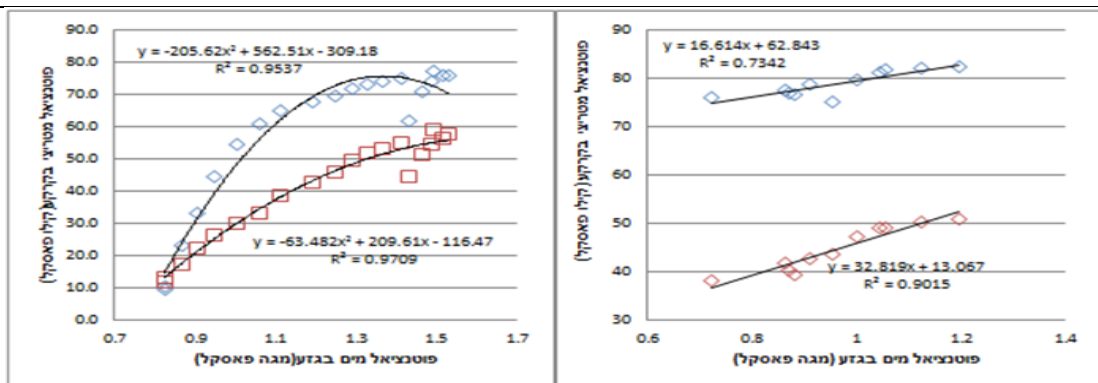
תוצאות ודיון

בשנה הראשונה של המחקר (2010) מחזור "ייבוש והרטבה" התבצע באמצע העונה ובשלושת העונות הבאות (2011-2013) התבצעו מחזורים כאלה בכל אחד משלושת שלבי התפתחות הפרי (כמתואר לעיל). עיבוד הנתונים כלל שליפת הנתונים מהמאגר של נטפים (Irriwise), סינון נתונים לא תקינים, ומיצוע של הערכים לכל יום. דוגמאות לקשרים בין הפרמטרים השונים לבין פוטנציאל המים בגזע מובאים באיורים 2 עד 5. הקשרים בין כל אחד מהסוגי חיישנים לבין פוטנציאל בגזע סוכמו כפונקציות ליניאריות או פולינומאליות המובאות בטבלה 1. עבור חיישני הרטיבות והפוטנציאל המטריצי של הקרקע הקשרים בטבלה מתארים במידה מסויימת את עקום התאחיזה של הקרקע (נבו 2014).

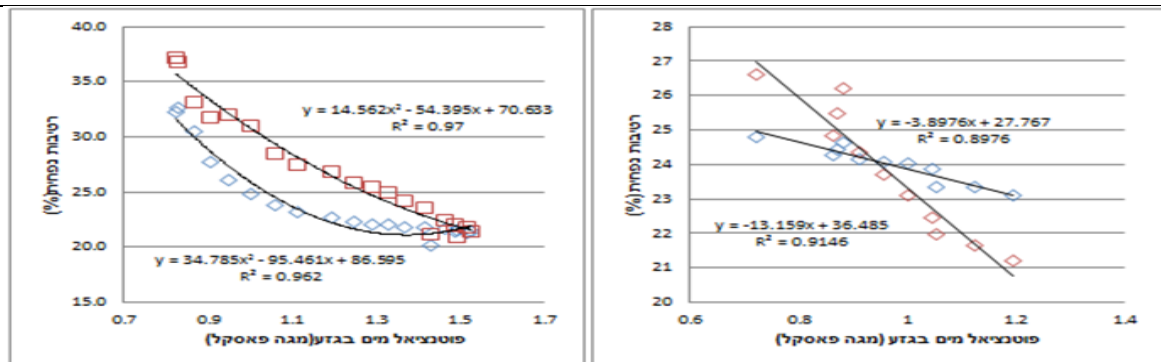




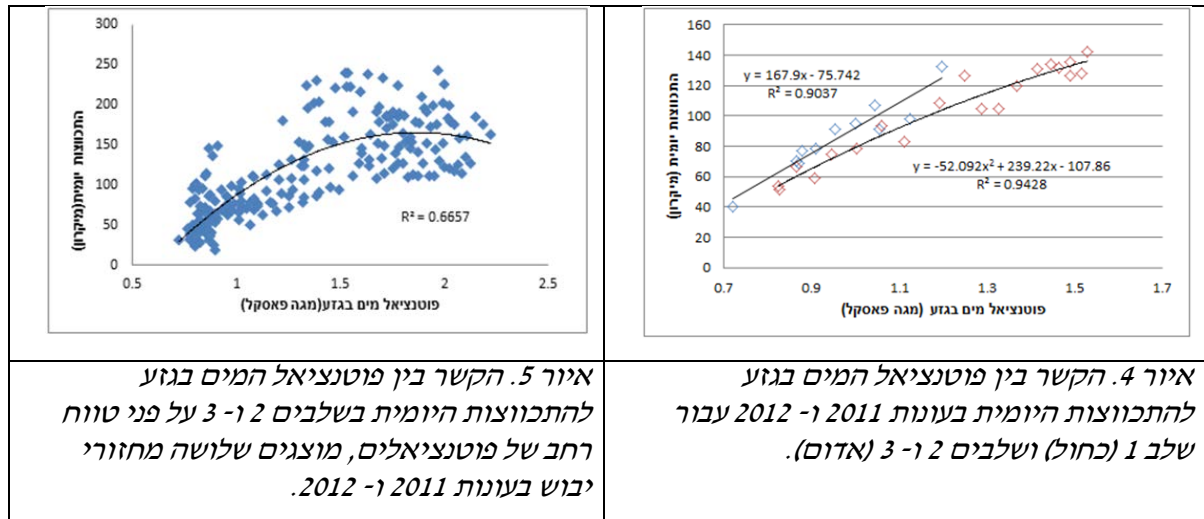
איור 1 ב. מפת חלקות הניסוי ועליה מצויינים אחוזי חרסית, סילט וחול מלמעלה למטה בהתאמה (נבו, 2014).



איור 2. הקשר בין פוטנציאל המים בגזע לפוטנציאל המטריצי בקרקע (מטנסיומטרים) בעונות 2011 ו-2012. שלב 1 מצד ימין ושלב 2 ו-3 מצד שמאל. עומק 30 ס"מ בכחול ועומק 60 ס"מ באדום.



איור 3. הקשר בין פוטנציאל המים בגזע לתכולת הרטיבות בקרקע בעונות 2011 ו-2012. שלב 1 מצד ימין ושלב 2 ו-3 מצד שמאל. עומק 30 ס"מ בכחול ועומק 60 ס"מ באדום.



טבלה 1. פרמטרים להתאמה ליניארית (בשלב 1) ופולינומית (שלב 2 ו-3) לקשר שבין נתונים מכל אחד מסוגי החיישנים לבין פוטנציאל המים בגזע (ב-MPa). ערכי הדנדומטר מציינים התכווצות מקסימלית יומית MDS. 30 ו-60 מציינים את העומק של החיישן בס"מ. פרמטרים הם של הפולינום $Y=A+Bx+Cx^2$. לפי איורים 2 עד 5.

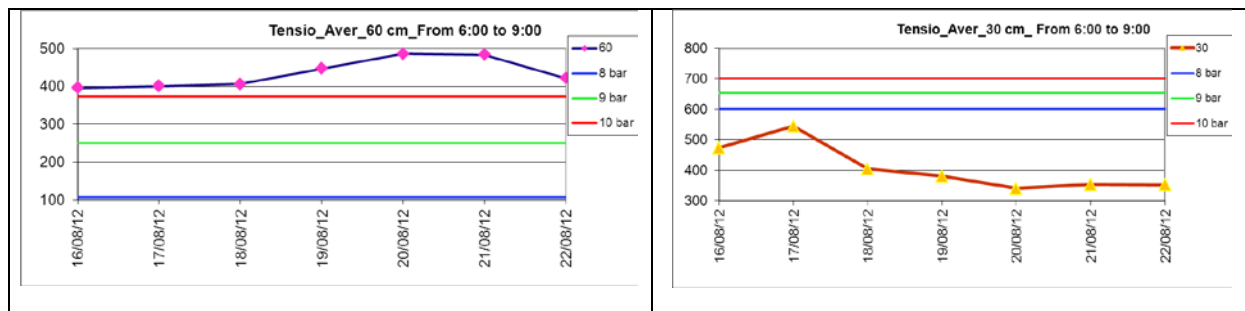
שלב	פרמטר	דנדומטר, מיקרון	מדי רטיבות 60, %	מדי רטיבות 30, %	טנסיומטר 60, kPa	טנסיומטר 30, kPa
1	A	-75.7	36.5	27.8	13.1	62.8
	B	167.9	-13.2	-3.9	32.8	16.6
2 + 3	A	-107.9	70.5	86.3	-118.9	-310.4
	B	239.2	-54.3	-94.9	214.1	564.5
	C	-52.1	14.6	34.5	-65.5	-206.4

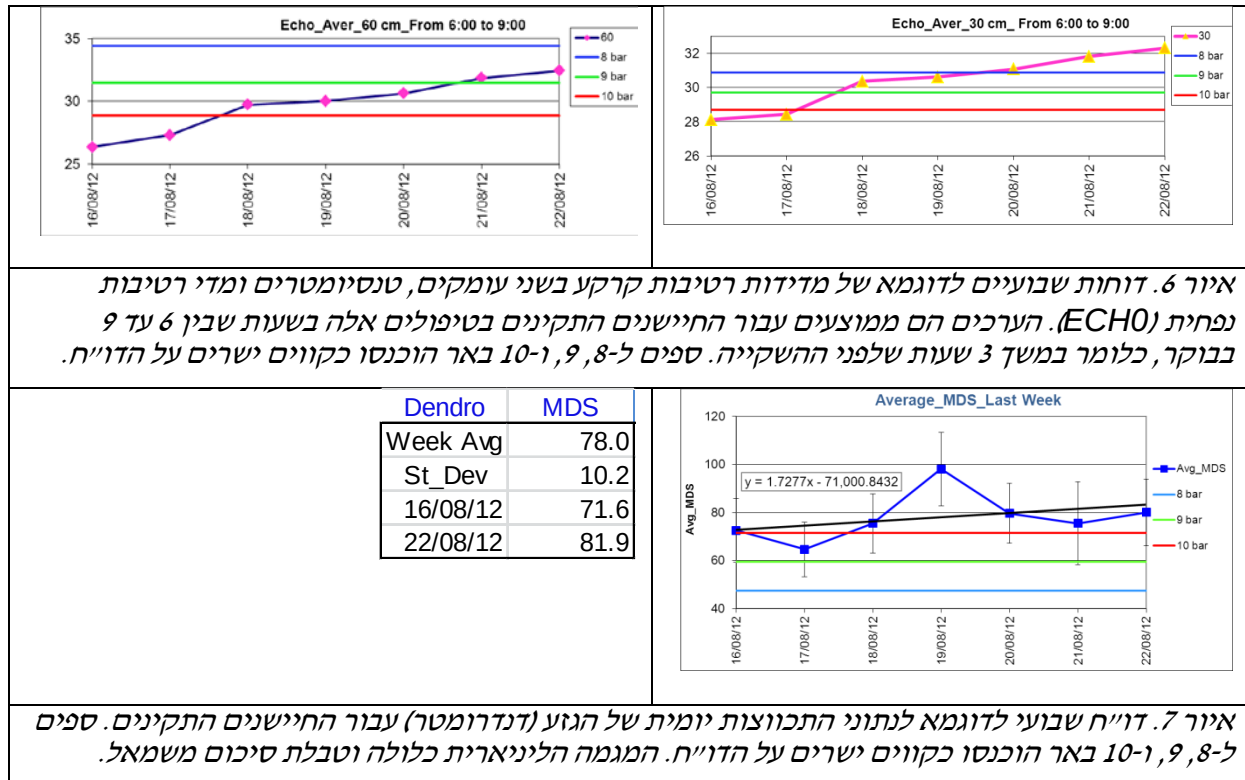
ב-2012 ו-2013 ניהול השקיה התבצע במטרה להגיע למצבי פוטנציאל מים בגזע של 0.9 MPa בשלב 1 ו-3, 1.5 בשלב 2, ו-1.9 לאחר קטיף. הערכים הנ"ל של פוטנציאל תורגמו לספים להחלטות על תיקונים ושינויים במנת ההשקיה ואלה מובאים בטבלה 3. הספים נגזרו מהפונקציות פולינום שהותאמו לנתוני פוטנציאל מים וערכי החיישנים בכל אחד משלבי גידול הפרי בחלקת ייבוש והרטבה (טבלה 2).

טבלה 2. טבלת ספים לכל אחד מהפרמטרים שנמדדו לצורך בקרת השקיה. בכל שלב רשומים שלושה ספים המקבילים לשלושה ערכי פוטנציאל מים בגזע (בעמודה הימנית). ערך המטרה היה הערך האמצעי, כלומר 0.9, 1.5, ו-0.9 MPa בהתאמה בשלבים 1, 2, 3 ולאחר קטיף בהתאמה. בעיות עם ספים אלה מצוינות לפי צבעים וההסבר מתחת לטבלה, ומורחבות בדיון.						
פרמטר	ψ בגזע	רטיבות נפחית 30	ψ בקרקע עומק 30	רטיבות נפחית 60	ψ בקרקע עומק 60	התכווצות גזע
שם	תא לחץ	אקו 30	טנסיו 30	אקו 60	טנסיו 60	דנדומטר
יחידות	MPa	אחוז	kPa	אחוז	kPa	מיקרון
שלב 1	0.8	25	62	25	38	67

85	45	23	66	25	0.9	שלב 2
103	53	21	72	24	1.0	
131	57	24	74	26	1.4	
143	58	24	74	25	1.5	
154	58	24	74	26	1.6	
0	11	39	60	34	0.8	שלב 3
20	25	36	66	32	0.9	
50	37	34	70	30	1.0	
120	60	29	28	25	1.8	לאחר הקטיף
140	67	28	32	25	1.9	
146	71	27	41	24	2.0	
צבעים מציינים את ההערות הבאות:						
קצה טווח התגובה, יש לנהל לפי תא לחץ		כנראה הטנסיומטרים הגיעו לערך פריצת האויר, תוצאה לא סבירה		הספים לא סבירים – תחום צר מדי בין שלושת הערכים.		ערכים לייחוס למצב עקה בשלב 2

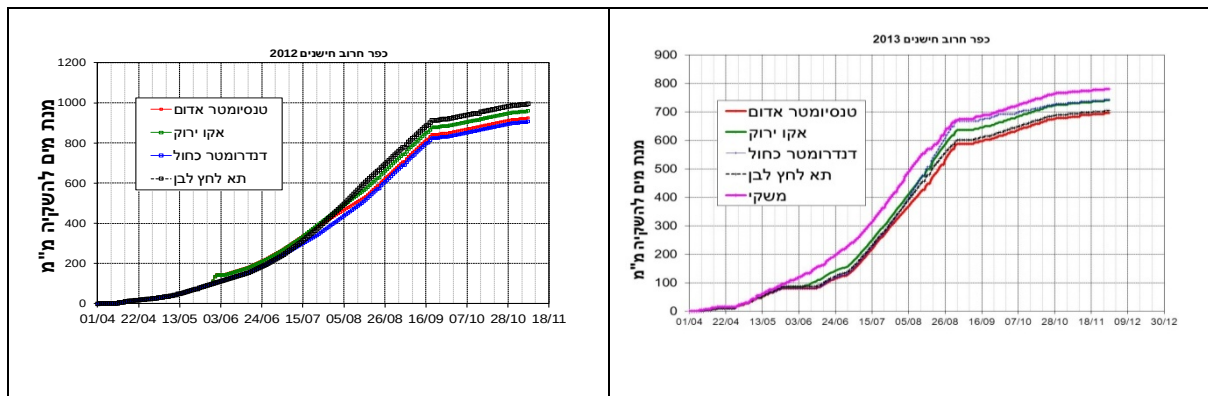
איורים 6 ו-7 הם דוגמאות לדוחות שבועיים שהופקו כל שבוע של עונת ההשקיה במשך הניסוי. ספים לקבלת החלטות מטבלה 2 מופיעים כקווים אופקיים ומסומנים לפי שלושת הערכים – 8, 9, ו-10 באר (0.8, 0.9, 1.0 MPa). דוחות אלה היוו בסיס לדיון שנעשה פעם בשבוע, וקבלת החלטות לגבי ההשקיה, כאשר מגמה שחרגה ביותר מבאר אחד (± 0.1 MPa) מהמטרה, שבמקרה זה היתה 9 באר (-0.9 MPa), הובילה להחלטה להוריד או להוסיף למקדם ההשקיה במשך השבוע שלאחר הדו"ח. בדוגמא זאת, בטיפול שבו הניהול התבצע לפי חיישני רטיבות נפחית (Echo), הדו"ח מראה עליה ברטיבות מעבר לסף, וההחלטה הייתה להוריד את מקדם ההשקיה, כלומר להוריד מהמנה היומית 0.5 מ"מ. במשך הפרויקט הדוחות הופקו באופן ידני ע"י עובד המו"פ ובמקביל פותחה תוכנה אוטומטית שנבנתה לצורך הפקת דוחות אלה ע"י קבוצה מהמכון להנדסה חקלאית. עבור חיישני רטיבות קרקע הערכים בדו"ח הם ממוצעים יומיים עבור שלושת השעות שלפני ההשקיה.



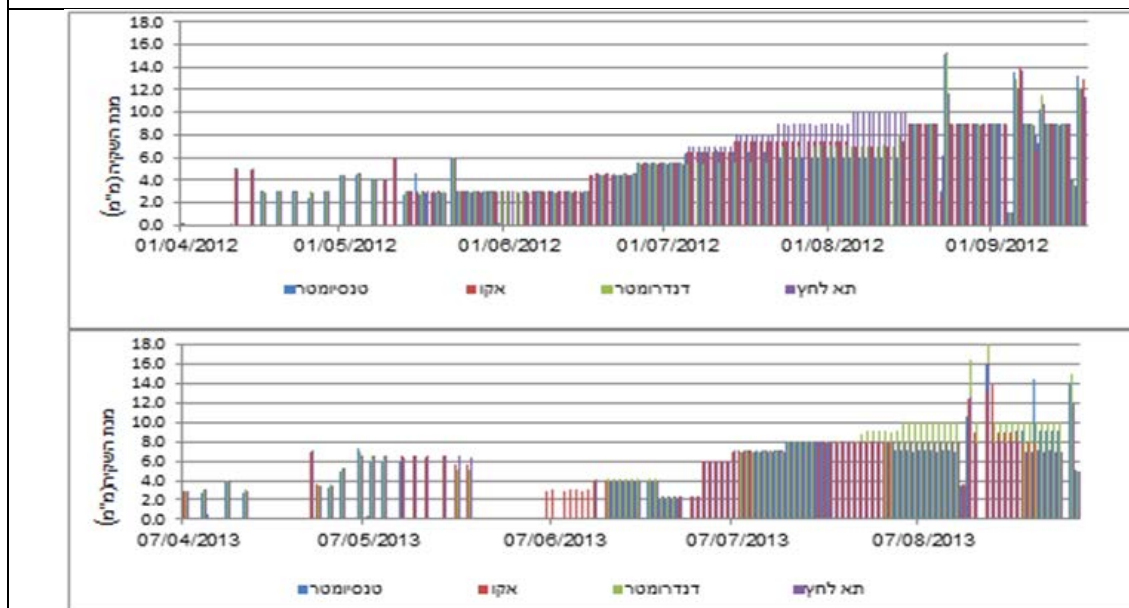


איורים 8 ו-9 מראים את ביצוע ההשקיה בפועל בניסוי במשך שתי העונות. עד סוף עונת ההשקיה, בתחילת נובמבר, ניתנו בין 909 ל-997 מ"מ ב-2012 ובין 679 ל-729 מ"מ ב-2013 בטיפולים השונים כאשר טיפול הטנסיומטר קיבל את המנה הגדולה ביותר ב-2012 ואת המנה הנמוכה ביותר ב-2013. טיפול הדנדרומטר קיבל את המנה הקטנה ביותר ב-2012 ואת המנה הגדולה ביותר ב-2013. ב-2013 היה מעקב אחרי מנת ההשקיה בטיפול המשקי, והוא הסתכם ב-767 מ"מ, 9% יותר מהממוצע של הטיפולים שלנו ושונה מהם באופן מובהק.

כאמור, הספים להשקיה לכל חישן לפי ערכי פוטנציאל מים בגזע מובאים בטבלה 2. בשלב 2 ולאחר הקטיף המטרה הייתה לייבש את הטיפולים עד 15 ו-20 באר בהתאמה. נמצא שניהול לפי רטיבות קרקע במשטרי חסר אלה לא היה ישים, מכיוון שעבור הטנסיומטרים ערכי הספים חרגו מהתחום שחיישנים אלה יעילים (כנראה ערך פריצת אוויר), ועבור מדי הרטיבות הנפחית ההבדל ברטיבות שמקבילה לבאר אחד היתה זניחה ובתחום הטעות של החישן. לכן, בשתי התקופות הנ"ל נאלצנו לנהל את ההשקיה בטיפולים אלה לפי מדידות תא לחץ והניהול לפי חיישנים היה רק בטיפול ה'דנדרומטר' שהיה עדיין יעיל.



איור 8. השקיה מצטברת בניסוי במהלך העונה. ימין – 2013; שמאל – 2012.



איור 9. גרף מנת ההשקיה היומית במ"מ לפי טיפול בעונות 2012 ו-2013.

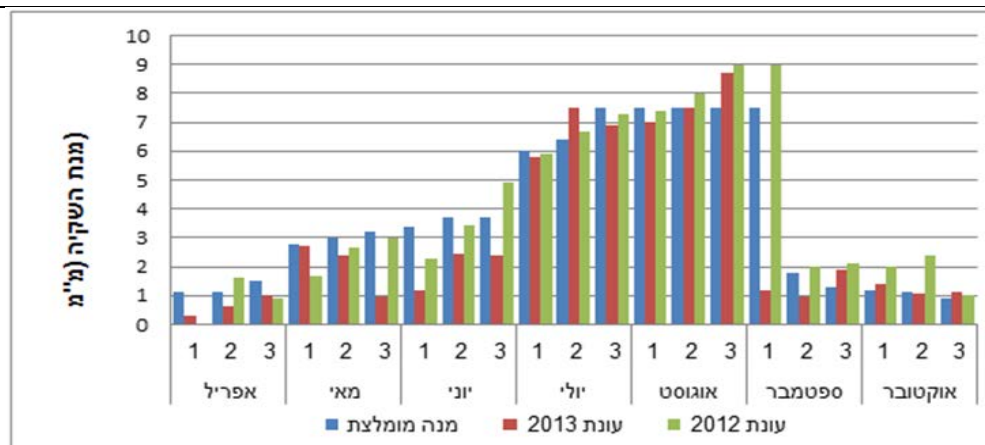
בעיה נוספת בניהול לפי חיישני רטיבות קרקע הייתה בהתייחסות לשני העומקים. במקרים מסוימים היתה סתירה בין השכבה הגבוהה לשכבה התחתונה, לדוגמא (ראה איור 6) החיישנים העליונים היו רטובים יותר מהסף הרטוב (8 באר) ולמטה היה יבש יותר מהסף היבש (10 באר). במקרים אלה ניהלו לפי הערך של השכבה העליונה מכיוון שהנחנו שרוב השורשים נמצאים בשכבה זאת. לדיון מורחב בנושא ראה נבו (2014).

מנות ההשקיה בפועל ב-2013 יחד עם המנות המומלצות של שה"ם מובאות באיור 10 וטבלה 3. בפועל ההבדלים בין הטיפולים שלנו היו קטנים, כאשר בכל אחד מהטיפולים ביקרנו לפי החיישנים במידת האפשר, וכאשר הם חרגו מהתחום היעיל שלהם ביקרנו לפי התא לחץ. תוצאות דומות התקבלו בעונת 2012 והובאו בדו"ח הקודם של הפרויקט. ניהול השקיה ע"מ לייבש בשלב 2 של גידול הפרי הוריד את רמת ההשקיה בסוף מאי וביוני. ב-2012 בתחילת שלב 2 הורדנו את מנת ההשקיה כדי לרדת ברטיבות לכיוון הסף הרצוי, אך בפועל לא הגענו אליו. ב-2013 הירידה במנה הייתה יותר דראסטית ולכן הירידה היתה יותר מהירה והגענו לסף. ניתן ללמוד מהניסוי על החיסכון האפשרי במים שניתן להגיע אליו אם ניתן לבקר

את מצב המים בצמח ולמנוע עקה חריפה מדי. איור 8 מראה את המהלך הנ"ל כאשר בסוף העונה החיסכון במים הסתכם בכ-100 מ"מ. חיסכון זה נבע מהשקיה מופחתת בשלב 2.

חודש	עשרת	מנה מומלצת מ"מ/יום	מנה בפועל (מ"מ/יום)			
			טנסיומטר	רטיבות	מד	דגדגמטר
אפריל	1	1.1	0.3	0.3	0.3	0.3
	2	1.1	0.65	0.7	0.7	0.7
	3	1.5	1	1	1	1
מאי	1	2.8	2.74	2.82	2.82	2.82
	2	3	2.4	2.6	2.6	2.24
	3	3.2	0.94	1.12	1.02	1.3
יוני	1	3.4	0	1.2	0	0
	2	3.7	2.28	3.36	2.46	2.46
	3	3.7	2.24	2.38	2.38	2.38
יולי	1	6	5.82	6.03	6.03	6.03
	2	6.4	7.5	7.5	7.5	7.5
	3	7.5	6.92	7.41	7.71	7.41
אוגוסט	1	7.5	7	8	9.7	8
	2	7.5	7.5	8.5	10	8
	3	7.5	8.7	8.1	9.7	7.2
ספטמבר	1	7.5	1.2	1.15	1.25	1.1
	2	1.8	1.41	1.39	0.94	1.38
	3	1.3	1.88	1.84	1.88	1.84
אוקטובר	1	1.2	2.41	2.3	1.41	2.3
	2	1.1	1.88	1.84	1.05	1.84
	3	0.9	1.37	1.33	1.15	1.32

טבלה 3. מנת המים המומלצת ובפועל עבור כל טיפול במהלך עונת 2013 לכל עשרת בחודשים אפריל עד אוקטובר. הסרגל מצד ימין מציין את שלבי ההתפתחות הפנולוגיים של הנקטרינה: כחול- שלב 1, ירוק- שלב 2 אדום- שלב 3.

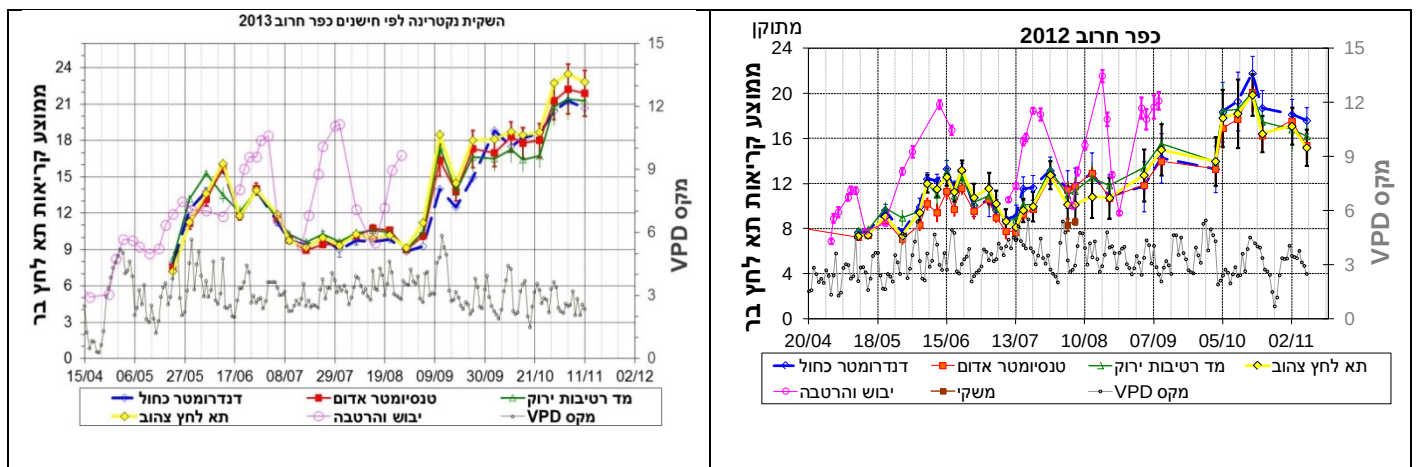


איור 10. השוואה בין מנות המים שניתנו בהשקיה לפי חישנים (ממוצע) בעונות 2012 ו-2013 למנות המים המומלצת לפי שה"מ לכל עשרת במהלך עונת הגידול של נקטרינה.

פוטנציאל מים בגזע במהלך שתי העונות מובא באיור 11. בשלב 1 הטיפולים נשארו מתחת ל-9 באר. בתחילת יוני (שלב 2) ב-2012 לא וב-2013 כן הגענו ל-15 באר ובשלב 3 (תחילת יולי) הוספנו מים ע"מ לרדת חזרה ל-9 באר. ניתן לראות שביוני 2012 נתוני הדגדגמטר הובילו להפחתת מנת ההשקיה ולייבוש יתר של הטיפול כך שפוטנציאל מים שם ירד קצת מתחת ל-9 באר. ב-2013, שהיתה קצת יותר נוחה מבחינה אקלימית עם ערכי VPD יותר נמוכים, בשלב 3 ערכי פוטנציאל מים עלו (כלומר הגיעו לסביבות -8 באר)

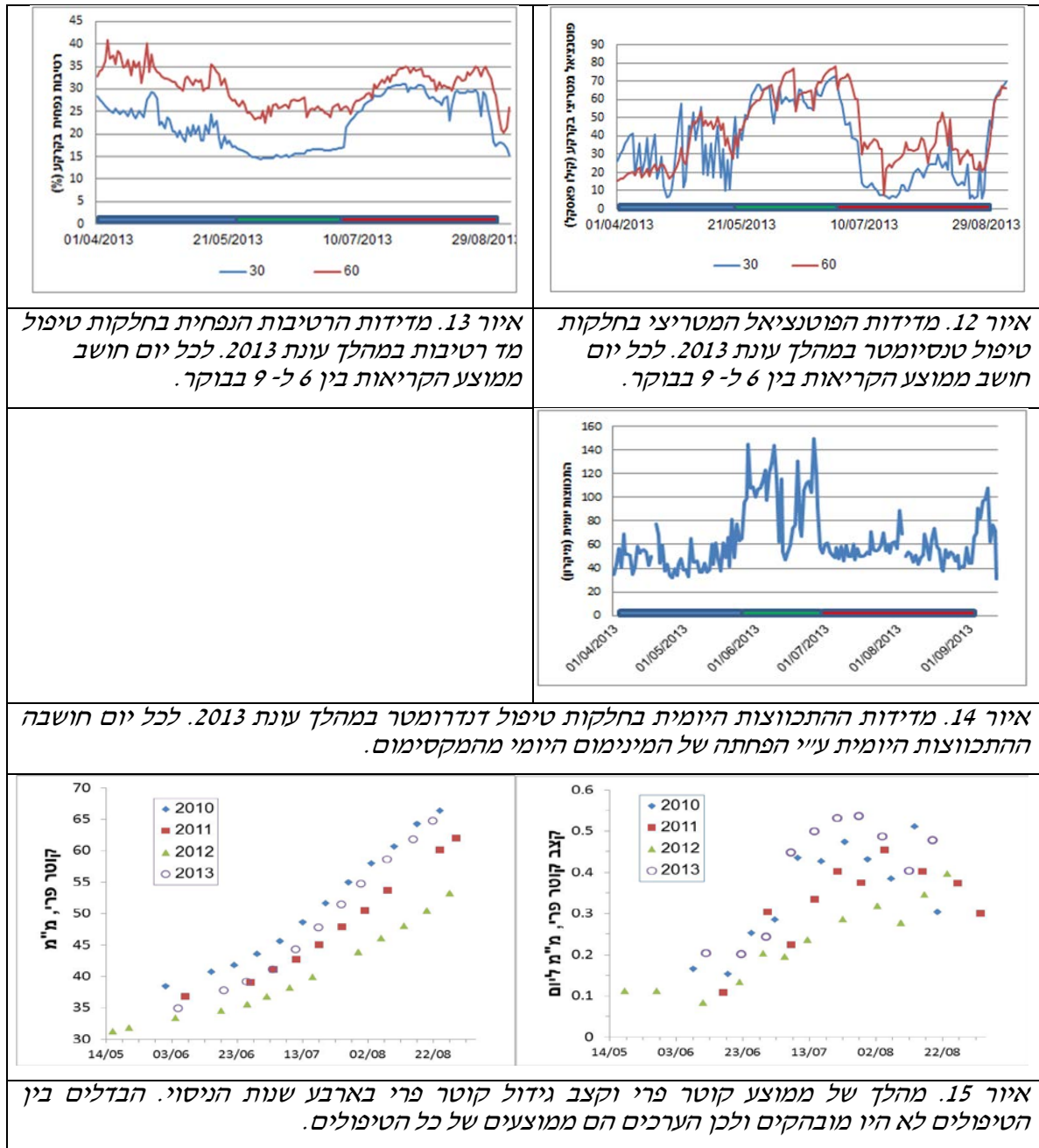
מה שמצביע על רטיבות קרקע מעל לסף. האקלים הנוח ואולי עומס הפרי המופחת (ראה למטה) הביא למצב שניתנה פחות השקיה. באוגוסט הערכים התייצבו סביבות 9 ו-10 באר ב-2012 ו-8 ב-2013 כאשר ב-2012 בטיפול תא לחץ הערכים היו יותר קרובים למטרה ובחלקות האחרות ערכים יותר גבוהים. ב-2013 ההבדלים בין הטיפולים היו קטנים. הקטיף היה באמצע ספטמבר ולאחר מכן נעשה ניסיון ליבש את החלקה לערכים קרובים ל-20 באר ע"י הורדת מנת ההשקיה. הערכים של 2012 מראים שההורדה לא היתה מספיק חריפה והערכים נשארו סביבות 14 באר. ב-2012 הגשם המשמעותי הראשון ירד ב-8 לאוקטובר. לאחר מכן ערכי תא לחץ עלו, כנראה בגלל שהעלים היו לקראת נשירה. ב-2013, לא היה גשם משמעותי עד נובמבר והגענו בפועל לספים של פוטנציאל מים בגזע שהתכוונו לאחר הקטיף ואף עברנו אותם ובטיפול "תא לחץ" הגענו ל-23 באר בתחילת נובמבר.

איורים 12, 13, ו-14 מביאים את המהלך העונתי של פוטנציאל מטריצי (מהטנסיומטרים), רטיבות נפחית של הקרקע (מדי רטיבות נפחית Ech20) והתכווצות יומית של הגזע (MDS) מהדנדרומטרים. בולטים במיוחד הערכים של יוני, המראים על מצב יובש בכל הטיפולים. הרטיבות הנפחית (איור 13) מראה שהרטיבות בעומק 90 ס"מ הייתה יותר גבוהה מאשר למעלה (עומק 30) בתחילת העונה, כנראה בגלל הצטברות גשמי חורף, ואחרי הייבוש של יוני הערכים בשני העומקים היו דומים. הטנסיומטרים (איור 12) מראים שבמצב הנ"ל ההבדל בין לפני ואחרי השקיה היה יותר גדול בעומק הרדוד, ודווקא בסוף העונה נראה שהיו הבדלים בין שני העומקים. נתוני התכווצות יומית מראים את תקופת הייבוש של שלב 2 באופן ברור, אבל במצבים האחרים הוריאביליות גבוה.



איור 11. פוטנציאל מים בגזע בצהריים מתוקן לפי VPD במשך העונה בארבעת הטיפולים, בחלקת "יבוש והרטבה", ובטיפול המשקי. מובאים ערכים של VPD מקסימאלי באמצע היום.

איור 15 מראה את מהלך התפתחות הפרי מסוף שלב 2 על סוף שלב 3 של גידול הפרי ועבור ארבעת השנים של הניסוי. כידוע, ב-2010 ו-2011 שמרנו על פוטנציאל מים בגזע של סביבות 0.9 MPa בשלב 2, ב-2012 פוטנציאל המים הורד קצת וב-2013 ייבשנו בשלב 2 עד לערכים של כ-1.5 MPa. הטיפולים הנ"ל כנראה לא השפיעו על קצב צמיחת הפרי מכיוון שהקצבים הכי גבוהים נצפו ב-2013 והכי נמוכים ב-2012. ייתכן שההבדלים בקצב התפתחות פרי יותר קשורים לעומס פרי על העץ ברמות רטיבות קרקע אלו (ראה להלן).

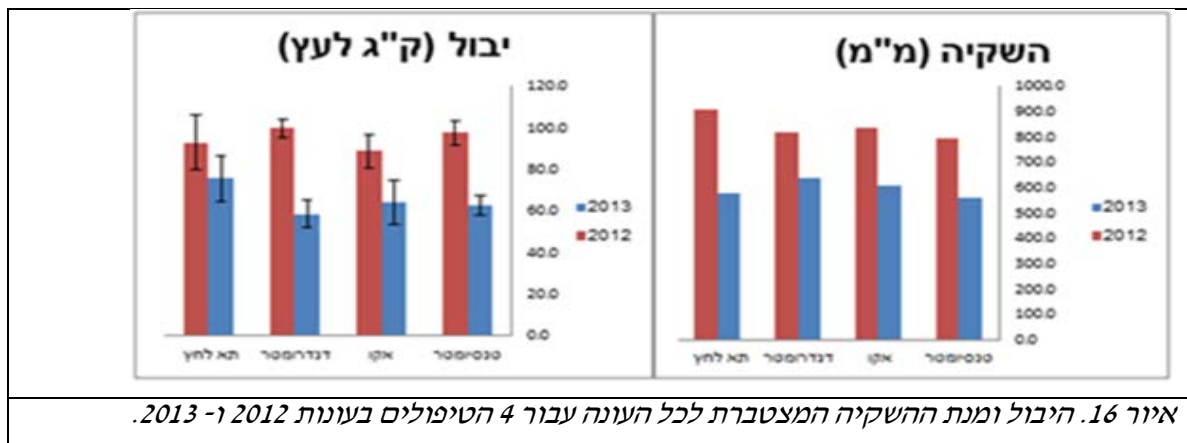


תוצאות נוספות התקבלו מהמערכת שמדדה את התחנה המטאורולוגית וזרימת מים בגזע. מדידות זרימה בגזע היו חלקיים בלבד ב-2010 ו-2011 ומלאים ב-2012. סיכום של תוצאות אלה הובא בדו"ח הקודם. התוצאות הראו שלא היו הבדלים בין הטיפולים אבל במחזורי ייבוש והרטבה הזרימה בגזע השתנתה מאוד לפי הטיפולים. עבודה מקבילה על כיוול חיישני זרימה בגזע נעשתה על שתילי נקטרינה בבית דגן. ממצאי העבודות שלנו על כיוול למספר מינים (כולל נקטרינה) פורסמו בכתב עת מדעי (Paudel et al., 2013).

מבקר של הדו"ח של הפרויקט הקודם העיר שניתן לבקר את ההשקיה גם לפי חיישני זרימה בגזע. נראה שהדבר אפשרי אך תשתיות הפרויקט הנוכחי לא אפשרו זאת. בכל מקרה, על בסיס המדידות

מהפרויקט הנוכחי פיתחנו מודל המתאר את הקשר בין זרימה בגזע בשעות הצהריים לבין פוטנציאל המים בגזע וה-VPD (Paudel et al., 2014). אנו מקווים שיתאפשר לנו בפרויקט עתידי לבחון את האפשרות להשתמש במודל זה או מודל אחר המקשר בין זרימה בגזע לבין פוטנציאל מים בגזע לבקרת השקיה.

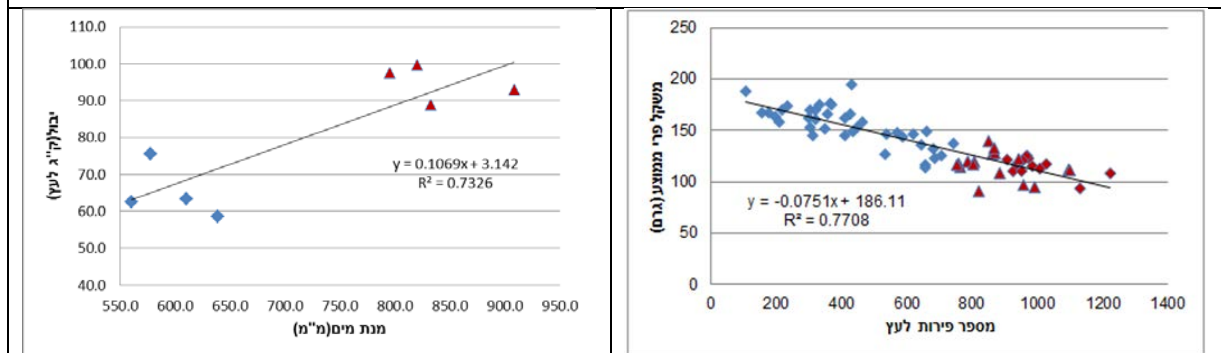
איור 16 מראה את היבולים וניתוח סטטיסטי מוצג בטבלה 4. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים ביבול באותה שנה וגם בהתפלגות גודל הפרי. אבל ב-2013 היבולים היו נמוכים מאשר ב-2012. כפי שראינו בקצב צמיחת פרי (איור 15) בשלב 3 ההבדלים כנראה שלא נבעו מהבדלים בהשקיה ובמצב המים של הצמח. הסבר נוסף להבדלים בין שתי השנים הוא הבדלים בעומס פרי בין השנים. הקשר בין מספר פרות לעץ לבין משקל פרי בשנתיים (איור 17 וטבלה 4) הוא עדות לני"ל, ומראה שב-2013 היו פחות פרות על העצים מאשר ב-2012. זה מסביר את הגדילה המואצת של הפרות ב-2013 בשלב 3 (איור 15) ואת היבול היותר נמוך, למרות שניתן לטעון שהירידה במנת המים ב-2013 גרמה לירידה ביבול (איור 18). הירידה במספר פירות לעץ ב-2013 יכולה לנבוע גם מהיובש שהפעלנו בסוף 2012 או מסיבה סביבתית (כגון חמסין במועד לא טוב). בכל מקרה, מציאת הסבר לני"ל לא היתה כלולה במטרות המחקר זה (וראה נבו, 2014).



השוואה בין שיטות המדידה: מטרה חשובה של המחקר הייתה לבחון את ההבדלים בין בקרה עם הסוגים השונים של החיישנים. כמצוין לעיל, בגלל מגבלות של הסוגים השונים של החיישנים התברר שלא הייתה אפשרות לנהל השקיה במצבים יבשים (כגון ספים של רטיבות קרקע נמוכה בשלב 2) בעזרת חיישני קרקע. סיכום של התובנות האלה מובא בטבלה 5. הטבלה מראה שכדי להבחין בהבדלים רלוונטיים למצבי המים בעץ בתנאים של רטיבות גבוהה טנסיומטרים ומדי רטיבות נפחית יעילים, אבל דנדרומטרים ופוטנציאל מים (תא לחץ) אינם יעילים בגלל שעבור השינויים ברטיבות קרקע במצבים אלה אין שינוי בפוטנציאל המים בגזע ובהתכווצות יומית של הגזע. עבור ייבוש קל כל השיטות יכולות להבחין בהבדלים במצב המים בעץ במידה מספקת. עבור יובש קשה ניתן להבחין בהבדלים בהתכווצות יומית ופוטנציאל בגזע, וכאשר היובש קיצוני (כפי שרצינו לאחר הקטיפה) חרגנו מהתחום היעיל של התכווצות הגזע ורק פוטנציאל המים בגזע היה יעיל.

טיפול	יבול (ק"ג לעץ)		מספר פירות		משקל פרי ממוצע (גר)	
	ממוצע	מובהקות	ממוצע	מובהקות	ממוצע	מובהקות
טנסיומטר 12	105	A	863	A	121.8	C
רטיבות נפחית 12	99.1	A	855	A	115.8	C
דנדרומטר 12	99.7	A	890	A	113.2	C
תא לחץ 12	116.6	A	1003	A	117	C
טנסיומטר 13	62.6	B	392	B	160	A
רטיבות נפחית 13	67.6	B	511	B	145.4	B
דנדרומטר 13	58.5	B	382	B	158.3	AB
תא לחץ 13	66.4	B	422	B	160.1	AB

טבלה 4. ניתוח סטטיסטי ב JMP של תוצאות הקטיפה מעונות 2012 ו-2013. מוצגים ממוצע ומובהקות סטטיסטית עבור כל אחד מהפרמטרים, כאשר שני פרמטרים בעלי אותיות שונות שונים בצורה מובהקת.



איור 17. הקשר בין מספר הפירות לעץ למשקל הפרי הממוצע עבור עונות 2012 (אדום) ו-2013 (כחול).
איור 18. מנת ההשקיה העונתית ויבול עבור עונת 2012 (אדום) ועונת 2013 (כחול).

רמת הייבוש	טנסיומטרים	מדי רטיבות	דנדרומטרים	תא לחץ
תנאים מיטביים	+	+	-	-
ייבוש קל (-0.9 Mpa)	+	+	+	+
ייבוש קשה (-1.4 Mpa)	-	-	+	+
תנאים קיצוניים (מעל -1.9 Mpa)	-	-	-	+

טבלה 5. תגובת המדדים לרמות ייבוש שונות, כאשר + מציין תגובה שאפשר להבחין בה ו- מציין חוסר תגובה. תא לחץ = פוטנציאל מים בגזע בשעות הצהריים.

רמת הדיוק של החיישנים: מעבר לדינמיקה של תגובת כל חיישן בייבוש, יש לחשב לאיזה חיישן רגישות גבוהה יותר בכדי לקבוע לפי איזה חיישן לנהל את ההשקיה. לצורך זה השוואה בין רגישות החיישנים התבצעה על פי מדד יחס אות לרעש. אות החיישן הוא מדד לרגישותו והוא מחושב ע"י נרמול של ערך מדוד ביחס לערך מדוד במצב של חוסר עקה ודאי (במקרה הנוכחי כאשר פוטנציאל המים בגזע היה -0.9 מגה פאסקל). הרעש של החיישן מחושב לפי השונות בין המדידות של חיישנים מאותו הסוג, ובמקרה שלנו ע"י מקדם השונות (CV) שלו שזהו היחס בין סטיית התקן לממוצע של אותו החיישן. יחסי אות לרעש עבור חיישני הטיפול אשר חושבו מנתוני המדידות של חלקות הטיפולים בעונת 2013, מוצגים בטבלה 6.

שלב	מדד	טנסיומטרים	מדי רטיבות	דנדרומטרים	תא לחץ
שלב 1	אות	1.48	0.87	0.84	0.72
	רעש	0.44	0.33	0.42	0.31
	יחס	3.36	2.64	2.00	2.32
שלב 2	אות	2.76	0.65	1.48	1.36
	רעש	0.24	0.37	0.37	0.13
	יחס	11.50	1.76	4.00	10.46
שלב 3	אות	1.51	0.91	0.89	0.96
	רעש	0.64	0.34	0.53	0.16
	יחס	2.36	2.68	1.68	6.00

טבלה 6. האות, הרעש והיחס ביניהם עבור כל טיפול בשלבים 1, 2 ו-3 של עונת הגידול 2013. עבור חיישני הקרקע הנתונים הם ממוצע של שני העומקים 30 ו-60 ס"מ.

בשלבים 1 ו-3 בהם לא רצויה עקה במטע התפתחו יחסי אות לרעש דומים פרט לתא הלחץ שהראה יחס אות לרעש גבוה יותר בשלב 3. שלב 1 קצר יותר ובו התבצעו פחות מדידות תא לחץ (שתי מדידות בלבד), מה שעשוי לגרום לשונות גדולה יותר. עבור הטנסיומטרים התקבל יחס אות לרעש הגבוה ביותר בשלב 1 כתוצאה מעוצמת האות הגבוה שלהם ביחס לחיישנים האחרים. זאת למרות שהרעש של מדידות הטנסיומטרים היה גם הוא הגבוה ביותר בשלב זה. בשלב 1 גם למדי הרטיבות היה יחס אות לרעש גבוה מתא הלחץ, עובדה המעידה על הרגישות הגבוהה יותר של חיישני הקרקע בשלב זה. בשלב 2, שבו הוקטנה ההשקיה ועקת היובש עלתה, עוצמת האות עבור כל החיישנים פרט למדי הרטיבות עלתה כצפוי, אבל עדיין נוצרו הבדלים כאשר שוב עבור הטנסיומטרים התקבלה עוצמת האות הגבוהה ביותר. למדי הרטיבות בשלב העקה (שלב 2) עוצמת אות נמוכה יותר משאר החיישנים כתוצאה מתכולת הרטיבות הנמוכה בשלב זה. בשלב 2 עבור הטנסיומטרים ותא הלחץ התקבלו רעשים דומים המעידים על התכנסות של השונות בקרקע ובצמח לערכים דומים בתנאי יובש. בשלב 3 בו ההשקיה היא שוב מיטבית ירדה בהתאמה עוצמת האות עבור כל החיישנים פרט למדי הרטיבות שבתכולות רטיבות גבוהות נותנים עוצמת אות גבוהה יותר. לשונות בין המדידות הייתה השפעה גבוהה יותר על יחס האות לרעש ולכן עבור תא הלחץ שלו הרעש הנמוך מבין המדדים התקבל יחס אות לרעש הגבוה ביותר, כ- פי 3 מהחיישנים האחרים. בשלב 3 תכולת הרטיבות וצריכת המים של העצים גבוהות ורמת עקת המים של העצים נמוכה, בתנאים האלה ישנה עדיפות לתא הלחץ בעל השונות הנמוכה מבין החיישנים. בשלבים בהם השקיה מיטבית (1 ו-3) ישנו הבדל בין תחילת העונה לסופה כאשר בתחילת העונה ישנה העדפה לניהול ההשקיה לפי חיישני הקרקע ובסוף העונה לפי תא לחץ. בשלב העקה (שלב 2) הטנסיומטרים בולטים ביחס האות לרעש הגבוה שלהם, אך אין העדפה ברורה על פני תא לחץ.

חישוב של **מספר החיישנים הדרוש** בכדי לקבל אותו יחס אות לרעש עבור שני חיישנים שונים הוא לפי $(s/\Omega_t / s/\Omega_m)^2$, כאשר s/Ω_t זהו יחס אות לרעש שאליו רצוי להגיע ו- s/Ω_m זהו יחס אות לרעש של החיישן. על פי חישוב זה מתקבל שכדי להגיע לרמת הדיוק של מדידות תא הלחץ כפי שהיו במחקר הנוכחי במהלך כל העונה דרושים: אותו מספר של טנסיומטרים, כפי 7 מדי רטיבות ופי 6 דנדרומטרים. לרוב מקובל שדרושים יותר טנסיומטרים בכדי לייצג את המטע ברמת דיוק דומה לתא לחץ.

דיון ומסקנות: השימוש במדדי קרקע וצמח רציפים נוסה בעונות 2012 ו-2013 לאחר מדידה וקביעה של ספי ההשקיה בעונות 2011 ו-2012. לא נמצא יתרון ברור לעבודה עם מדדים רציפים בהשוואה לפוטנציאל המים בגזע (תא לחץ), היות וגם עבור המדדים הרציפים הנתון שלפיו התקבלה החלטה היה יומי-שבועי.

פרק הזמן לקבלת החלטה צריך להיות כזה שיאפשר התייבבות של הקריאות סביב ערך הסף הרצוי מחד ולא יהיה ארוך מדי מאידך. אנו ממליצים על פרק זמן של שבוע לקבלת החלטה בשלבים 1 ו-3 ופרק זמן של 3 ימים כאשר מופעל משטר השקיה גרעונית בשלב 2 ולאחר הקטיף. יש לבחון אם בהחלטה שתתקבל כל 3 ימים נמנע מ"אזעקות שווא", כלומר שהשפעות אחרות על המדדים (כגון גרעון לחץ אדי המים באוויר, או עננות גבוהה) יגרמו למגמות שלא משקפות את מצב המים בקרקע ובצמח. בכל מקרה, נראה שהסתברות "אזעקות שווא" בהחלטה על בסיס שבועי נמוכה (ראה דיון בנבו, 2014).

השינויים במדידות חיישני הקרקע התחילו לפני השינויים במדידות בצמח, קרי תגובת הקרקע לייבוש הקדימה את התגובה בצמח, לכן מדדי קרקע רגישים יותר למחסורי מים קטנים. בהמשך נעצרה תגובת חיישני הקרקע לפני התגובה בחיישני הצמח, לכן בתנאי ייבוש קיצוניים רגישות חיישני הצמח גבוהה יותר. לכן מומלץ לנהל ההשקיה על פי חיישני קרקע בשלבים בהם ההשקיה מיטבית (1 ו-3) על פי חיישני צמח בשלבי העקה (2 ולאחר הקטיף). בניהול ההשקיה לפי חיישני הקרקע יש לתת משקל גדול יותר לעומק 60 ס"מ בשלב 1 ולעומק 30 ס"מ בשלב 3.

תגובת תכולת הרטיבות הנפחית (SWC) והפוטנציאל המטריצי (SMP) בקרקע, ותגובת ההתכווצות היומית (MDS) לפוטנציאל המים בגזע (SWP) הייתה שונה בחלקים שונים של העונה (שלב 1 ושלבים 2 ו-3). מכך נבעו הבדלים בספי ההשקיה עבור השלבים השונים. מצאנו לנכון לקבוע ספי השקיה שונים עבור כל אחד משלבי התפתחות הפרי של הנקטרינה בהתאם לתגובה השונה שהייתה בכל שלב. בשלבים 1 ו-3 הספים מתאימים לתנאים של השקיה מיטבית, ובשלב 2 ולאחר הקטיף הספים מתאימים לתנאים של עקת יובש מבוקרת (RDI). נמצאו קשרים אמינים בין SWC, SMP ו-MDS ל-SWP כאשר ירידה ב-SWP הובילה לעליה ב-SMP ו-MDS, ירידה ב-SWC ועליה ברמת העקה בכל המדדים. הקשרים האלה אפשרו את קביעתם של ספי ההשקיה לכל שלושת החיישנים בהתאם ל-SWP.

השימוש במיפוי רשת של בית השורשים (המתואר בנבו, 2014) אפשר לקבוע את המיקום ביחס לגזע עבור חיישני הקרקע בהשקיה בטפטוף. מומלץ כי מיקומו של חיישן קרקע לא יעלה על 50 ס"מ מהגזע, הוא ימוקם בשני עומקים 30 ו-60 ס"מ ובסמוך לשלוחת הטפטוף (ראה נבו, 2014).

השקיה באמצעות מדדי קרקע וצמח רציפים מובילה לחסכון אפשרי במים בעיקר בסוף שלב 1 ובמהלך שלב 2. יש לשקול הפחתה של מנות ההשקיה בשלבים אלה כדי לחסוך במים ולהיעזר בחיישנים מתאימים כדי לבקר באופן יעיל את מצב המים בקרקע ובצמח ולהימנע מנזק לעצים וליבול. המקרה של עומס פרי משתנה יכול להיות משוקלל לכדי השפעה אחת על היבול ע"י מדידות תא לחץ או לחלופין שמירה על פוטנציאל מים רצוי בגזע באמצעות שמירה על ספי השקיה עבור חיישנים אחרים (טנסיומטרים, מדי רטיבות או דנדרומטרים) המתאימים לכל שלב.

פירסומים מדעיים

1. Paudel, I. 2012. Quantifying sap flow responses to soil and plant water status and climate in nectarine trees. MSc. Thesis. Hebrew Univ. of Jerusalem. In English
2. Nevo, E., Wallach, R., Cohen, S. 2013. Irrigation based on sensing of plant and environment in deciduous orchards. Poster at CARESS conference, Weizmann Inst.

3. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2013. A simple robust model of nectarine orchard sap flow, transpiration and capacitance based on climate and mid-day stem water potential. Poster presented at CARESS Conference, Weizmann Inst., and at the Sap flow workshop in Ghent, Belgium.
4. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2013. Quantifying sap flow responses to soil and plant water status and climate in nectarine trees. *Acta Horticulturae*, 991: 433-440.
5. Paudel, I., Kanety, T., Cohen, S. 2013. Inactive xylem can explain differences in calibration factors for thermal dissipation probe sap flow measurements. *Tree Physiology* 33:986-1001.
6. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2014. Modeling nectarine tree water use from climate and mid-day stem water potential. *Tree Physiology* (in revision).

7. נבו, אייל. 2014. השקיית נקטרינה באמצעות טנסיומטרים, מדי רטיבות קרקע נפחית ודנדרומטרים רציפים במשטר השקיה גרעונית לשלב התקשות הגלעין. עבודת גמר מוגשת לאוניברסיטה העברית ב-ם (הפקולטה לחקלאות).

ביבליוגרפיה :

נבו, אייל. 2014. השקיית נקטרינה באמצעות טנסיומטרים, מדי רטיבות קרקע נפחית ודנדרומטרים רציפים במשטר השקיה גרעונית לשלב התקשות הגלעין. עבודת גמר מוגשת לאוניברסיטה העברית ב-ם (הפקולטה לחקלאות).

Paudel, I., Kanety, T., Cohen, S. 2013. Inactive xylem can explain differences in calibration factors for thermal dissipation probe sap flow measurements. *Tree Physiology* 33:986-1001.

Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2014. Modeling nectarine tree water use from climate and mid-day stem water potential. *Tree Physiology* (in revision).

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה:
מטרת המחקר הייתה להריץ את פרוטוקול ההשקיה שפותח עם תוכנית "מאתגרת", בעזרת מערך החיישנים בשטח. ניהול השקיה לפי פוטנציאל מים בגזע בצהריים של 9 באר בשלב 1 ו-3 של גידול הפרי, 15 באר בשלב 2, ו-20 באר לאחר הקטיפה. בנוסף, הרצת מחזורי ייבוש והרטבה בחלקה נפרדת בכל אחד משלבי הגידול ע"מ להוסיף חזרות להרצות הקודמות, שיאפשרו דיוק יותר טוב בקביעת הקשרים בין חיווי החיישנים לבין פוטנציאל המים בגזע. בניית טבלאות ופונקציות להמרה, וניתוח כל התוצאות.
עיקרי התוצאות:
בשלבים של השקיה לפי 9 באר הצלחנו לתקן את מנות ההשקיה לפי חיוויי החיישנים. בשלבים בהם ייבשנו יותר חרגנו מהתחום היעיל של מדי רטיבות קרקע ולכן ניהלנו לפי פוטנציאל מים בגזע והתכווצות יומית (דנדרומטרים). סוכמו תוצאות הניסוי בטבלאות של ספים לחיישנים, פונקציות להמרה בין נתוני חיישנים ופוטנציאל מים בגזע, ורגישות בשלבים השונים, כולל השוואה בין חיישנים.
המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח: המטרות הושגו. אין שינוי לגבי המשך המחקר.
בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן: אנו בשלבי פיתוח של מערך תוכנת מחשב שיתמוך בפרוטוקול ההשקיה שפותח. הוגש הצעת מחקר שעברה את ההיגוי בנושא "חיזוי פוטנציאל המים בגזע במטעים כתחליף לשימוש בתא לחץ לצורכי בקרת השקיה" שתמשיך את העבודה הזאת.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח:
Paudel, I. 2012. Quantifying sap flow responses to soil and plant water status and climate in nectarine trees. MSc. Thesis. Hebrew Univ. of Jerusalem. In English Nevo, E., Wallach, R., Cohen, S. 2013. Irrigation based on sensing of plant and environment in deciduous orchards. Poster at CARESS conference, Weizmann Inst. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2013. A simple robust model of nectarine orchard sap flow, transpiration and capacitance based on climate and mid-day stem water potential. Poster presented at CARESS Conference, Weizmann Inst., and at the Sap flow workshop in Ghent, Belgium. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2013. Quantifying sap flow responses to soil and plant water status and climate in nectarine trees. <i>Acta Horticulturae</i>, 991: 433-440. Paudel, I., Kanety, T., Cohen, S. 2013. Inactive xylem can explain differences in calibration factors for thermal dissipation probe sap flow measurements. <i>Tree Physiology</i> 33:986-1001. Paudel, I., Naor, A., Gal, Y., Cohen, S. 2014. Modeling nectarine tree water use from climate and mid-day stem water potential. <i>Tree Physiology</i> (in revision). נבו, אייל. 2014. השקיית נקטרינה באמצעות טנסיומטרים, מדי רטיבות קרקע נפחית ודנדרומטרים רציפים במשטר השקיה גרעונית לשלב התקשות הגלעין. עבודת גמר מוגשת לאוניברסיטה העברית ב-ים (הפקולטה לחקלאות).
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי ? לא