

הצעה מספר – 21-16-0001/15

חיזוי פוטנציאל המים בגזע במטעים כתחליף לשימוש בתא לחץ לצורכי בקרת השקיה

Prediction of midday stem water potential to eliminate the required use of the pressure chamber for irrigation scheduling

דו"ח שנה א'

שמות החוקרים

שם החוקר	כתובת החוקר	תפקיד במחקר
חוקר ראשי: עמוס נאור Amosnaor51@gmail.com	מו"פ צפון. מועצה איזורית גליל עליון	אחראי על ביצוע המחקר וכתיבת הדו"ח
שמוליק פרידמן vwsfried@volcani.agri.gov.il	המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, בית דגן	אחראי על בניית המודלים והרצתם ופיתוח אלגוריתם לחיזוי פוטנציאל המים בגזע
שבתאי כהן vwshep@volcani.agri.gov.il	המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, בית דגן	אחראי על בניית מערכות המדידה ואיסוף הנתונים

פברואר 2016

אדר א' תשע"ו

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא מחק את המיותר *

*

תקציר

הבעיה החקלאית – היכולת לחסוך במי השקיה תלויה בצורה הדוקה ביכולת שלנו להעריך את מצב המים בעץ. ככל שהערכה זו תהיה טובה יותר כך תיקטן תוספת מי ההשקיה המשמשת כמקדם ביטחון. לרשות החקלאי עומד השימוש בתא לחץ למדידת פוטנציאל המים בגזע המאפשר קביעת ספים על בסיס אזורי לעומת חיישנים רציפים (קרקעים וצמחיים) המחייבים קביעת ספים לכל חיישן/חלקה. החסרון של תא הלחץ הוא הסירבול של המדידה והעדר נתונים רציפים המונע שימוש נרחב על ידי החקלאים.

מטרות המחקר – לבחון חיזוי פוטנציאל המים בגזע באמצעות מודלים של תנועת מים ברצף קרקע-צמח-אטמוספירה בהתבסס על מדידות פשוטות ואנלוגיות של מתח המים בקרקע, קצב זרימת מים בגזע, שינויים בעובי הגזע ונתונים מטאורולוגיים.

תכנית המחקר – הניסוי מבוצע בנקטרינה בוגרת בחוות המטעים של מו"פ צפון בעמק החולה. הוקמה תשתית לניסוי השקיה עם ארבעה טיפולים. הותקנו דנדרומטרים, חיישני זרימת מים, טנסיומטרים ב-12 עצים. בעונה זו נבחנה תקינותם ותגובה למחזור ייבוש. בוצעה בחינה של חיישן רציף למדידת פוטנציאל מים בגזע.

תוצאות עיקריות – הוריאביליות של חיישני הזרימה בין העצים היא 22%, בין חישנים באותו עץ 15% ובין חיישנים (טכני) 6%. התכווצות הגזע עלתה מ-62 מיקרון לפני עצירת ההשקיה ל-83 בתקופת ההצמאה. גידול הגזע ירד מ-16 מיקרון לפני ההצמאה ל-2 מיקרון אחרי ההצמאה. גידול הגזע הגיב חזק יותר לעקת המים בהשוואה להתכווצות היומית. חיזוי ראשוני של פוטנציאל המים בגזע בעקום יומי נתן ערכים דומים למדודים עם עיכוב של כמה שעות בתגובה.

מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות – מוקדם להסיק מסקנות כיוון שהמחקר עד כה עסק בהתקנות חיישנים ובדיקות איכות המדידות. החיישן הרציף למדידת פוטנציאל המים בגזע יכול לשמש את המחקר בצורה טובה ולכן כדאי להשקיע מאמץ ביצירת תנאים טובים למדידה (בידוד תרמי).

מבוא

גידול עצי פרי באקלים הים תיכוני המתאפיין בקיץ חם ויבש ובחורף קצר וגשום עם כמות משקעים ממוצעת של 500 מ"מ מצריך שימוש בהשקיה במשך עונת האביב והקיץ היבשות. תפקידה של ההשקיה החקלאית היא לספק לצמחים את כמות המים הנדרשת הן מבחינת הכמות והן מבחינת העיתוי על מנת להבטיח את תפקודו הפיזיולוגי התקין של הצמח מחד ועל מנת לקבל את הפיריון החקלאי גבוה מאידך.

על מנת לנהל את ההשקיה בצורה יעילה יש צורך במערכת בקרה שתאפיין את דרישת המים של הצמחים ותנהל את ההשקיה בהתאם למצב המים במערכת – קרקע – צמח – אטמוספירה. לפיכך בקרת השקיה צריכה להיות מבוססת על ניטור מצב המים בקרקע או על ניטור משק המים בצמח או על ניטור של ההשפעה האקלימית על משק המים במערכת – או על ניטור של שלושתם יחד.

בעשורים האחרונים נעשה מחקר רב בחיפוש אחר מדד השקיה אולטימטיבי בעצי פרי נשירים – שיאפיין בצורה אמינה את משק המים של העצים ושיהיה קשור באופן יציב לאומדני יבול כמו כמות פרי וגודל פרי. בעשרים שנה האחרונות נמצא כי מדד פוטנציאל המים של הגזע הינו המדד המתאים ביותר לאפיון משק המים של העצים ולכן ניתן באמצעותו לבקר ולנהל את ההשקיה.

הערכת משק המים של הצמח מאפשרת לנהל את ההשקיה החקלאית באופן יעיל ומדויק, ומאפשרת את הגדלת החיסכון במים מחד ואת הגדלת הפיריון מאידך. אחד המדדים המאפיינים את משק המים של עצים הוא מדד פוטנציאל המים של הגזע. מדד זה מבוסס על מדידות ידניות ומדגמיות של עצים בודדים במטע ולכן אינו מאפשר שימוש יעיל בשיטה זו. בכדי לבסס את ההשקיה על בסיס אומדנים המבוססים על מדד פוטנציאל המים של הגזע יש לפתח מודל המבוסס על מדידות מטאורולוגיות – צמחיות – קרקעיות במטרה לקבל הערכה טובה של פוטנציאל המים של הגזע באופן רציף ומייצג. המודל יתבסס על פרמטרים הניתנים למדידה פשוטה וישירה – ויאפשר לקבל הערכה טובה של משק המים של העצים במטע.

מטרת המחקר היא להעמיק ולהבין את הקשר בין פוטנציאל המים של הגזע לבין מצב המים בקרקע, התכונות הגזע היומית והתנאים המטאורולוגיים בסביבת העצים - במטרה שאפיון של מצב המים בקרקע, התכונות הגזע היומית והתנאים המטאורולוגיים יאפשרו לקבל אומדן לפוטנציאל המים בגזע.

המחקר משלב בין היבטים – פיזיקליים הקשורים בתנועת המים במערכת קרקע – צמח – אטמוספירה לבין היבטים פיזיולוגיים הקשורים בתגובות העץ למצב המים שלו. במהלך העונה הראשונה של המחקר נבחנו מספר מודלים המתארים את פוטנציאל המים של הגזע באמצעות פרמטרים אחרים הניתנים למדידה ישירה. המודלים שנבחנו הינם חצי אנליטיים ומבוססים על משוואת פיזיקליות המתארות את תנועת המים במערכת ועל ממצאים אמפיריים שייצגו את התגובה הפיזיולוגית של העצים.

למחקר יש הן היבט תיאורטי והן היבט מעשי. מהבחינה התיאורטית המחקר יאפשר לקדם את ההבנה של תנועת המים מבית השורשים לעלים - את הגורמים המכתיבים תנועה זו ואת תגובתו הפיזיולוגית של העץ למצב המים שלו. מהבחינה המעשית הוא יאפשר לפתח מערכת תומכת החלטה שתנהל את ההשקיה באופן אוטומטי על בסיס ניטור פוטנציאל המים של הגזע באמצעות המודלים שייבחנו.

מטרות המחקר לשנה א'

א. העמדת מערכת החיישנים בחלקה ובחינת תקינות פעולתם.

ב. בחינה ראשונית של המודלים.

חומרים ושיטות

הניסוי נערך בחלקת הניסיונות (חוות המטעים) של מו"פ צפון במטע נקטרינות בוגר. המרחק בין העצים - 3 מטר, ובין השורות - 4.5 מטר. הניסוי נפרס על פני 5 שורות (צפון – דרום), שתי שורות גבול ושלוש שורות מדידה באמצע, בכול שורה 24 עצים שחולקו לארבעה טיפולי השקיה. השנה הותקנו חיישנים על 12 עצים. כשבכל אחד מעצי המדידה נמדדו באופן אוטומטי: זרימת המים בגזע, דנדרומטריה ופוטנציאל המים בקרקע, ובאופן ידני בוצעו מדידות של פוטנציאל המים בגזע באמצעות תא לחץ. במרכז החלקה הוצב תורן מטאורולוגי הכולל מדידות קרינה, רוח, לחות וטמפרטורה. החיישנים נקראו אחת לעשר שניות ונשמרו הערכים הממוצעים כל חמש דקות באמצעות אוגר נתונים מסוג CR1000 של חברת Campbell Scientific.

מדידות זרימת המים בגזע - בכול אחד מבין 12 עצי המדידה הותקנו שלושה חיישני דיסיפציית חום מסוג "גרנייה" בשלושה אזימוטים – 270,180,90. החיישנים נבנו בייצור עצמי במעבדה במכון וולקני, קוטר החיישן 2 מ"מ ואורך 20 מ"מ, מעגל החימום של החיישן המחומם מווסת את הזרם לקבלת הספק קבוע של 0.2 וואט בהתאם להמלצות המובאות אצל גרנייה (Granier, 1985).

בניסוי הנוכחי נמדדה הטמפרטורה האבסולוטית של שני החיישנים - חיישן הרפרנס וחיישן החימום. ועל בסיס הביטוי האמפירי הבא חושב שטף המים בגזע:

$$J = aK^b \quad (1)$$

כאשר J הינו שטף המים (l hr⁻¹ dm⁻²), a ו-b הינם קבועים אמפיריים שכוילו עבור נקטרינה (Paudel et al, 2012), וערכם 1.157, 4.86 בהתאמה. K הינו הפרש הטמפרטורה המנורמל בין החיישן המחומם לחיישן הרפרנס:

$$K = \frac{\Delta T_m - \Delta T}{\Delta T} \quad (2)$$

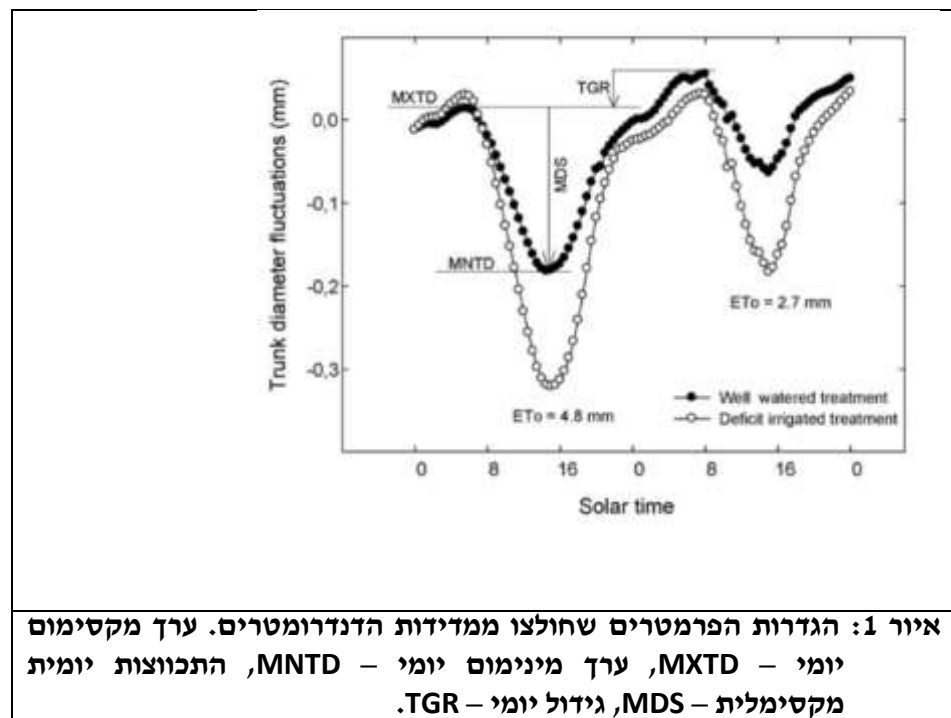
ΔT_m , הינו ההפרש המקסימלי בין החיישנים המבטא את ההפרש כאשר הזרימה שווה לאפס והוא מחושב עבור כול יום בנפרד. ΔT הפרש הטמפרטורה הרגעי בין שני החיישנים. שטף המים הכולל (l Tree-1) :
 hr-1) מכול שטח העץ מחושב על ידי :

$$F = JA \quad (3)$$

כאשר A הינו שטח העצה הפעילה (dm^2) מתוקן בגורם המבטא את הפרופיל הרדיאלי של הזרימה – על בסיס עבודתם של Paudel et al(2012).

מדודות דנדרומטריה - המדידות של השתנות רדיוס הגזע נעשו באמצעות מתמר תנועה לינארי - LVDT **linear variable displacement transducer**, שממיר תנועה קווית לאות חשמלי. ההתקן מבוסס על תופעת האינדוקטיביות שגורמת להשראת מתח חשמלי על תיל מוליך שנמצא בשדה אלקטרומגנטי. ההתקן בנוי כך שהליבה המגנטית מחוברת לגזע ויש לה חופש תנועה בין סליל המקבל מתח קבוע (סליל ראשוני) ושני סלילים שהמתח עליהם מתכונתי למיקום הליבה בינם לבין הסליל הראשוני.

מהמדידות הגולמיות חולצה הגדילה היומית (TGR - Trunk Growth Rate) וההתכווצות היומית (MDS - Maximum Daily Shrinkage) (איור 1).



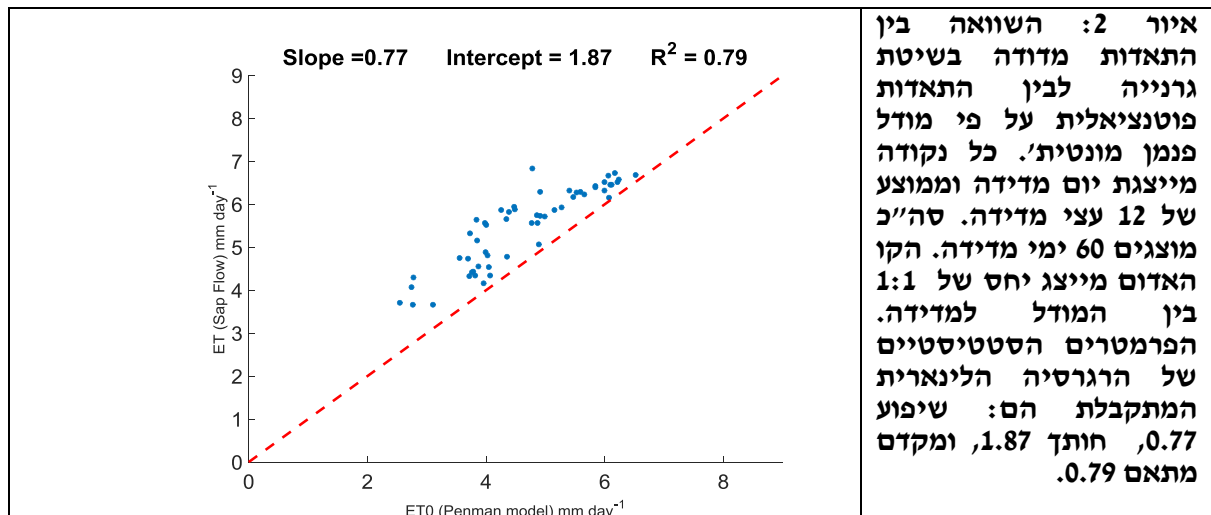
איור 1: הגדרות הפרמטרים שחולצו ממדידות הדנדרומטרים. ערך מקסימום יומי - MXTD, ערך מינימום יומי - MNTD, התכווצות יומית מקסימלית - MDS, גידול יומי - TGR.

בעבודה הנוכחית ישנה חשיבות רבה לשינויים בקוטר הגזע הקשורים בתהליכים האלסטיים בלבד ללא רכיב הגדילה ולכן הנחנו כי קצב הגדילה היומי הוא קבוע והגדילה היא לינארית. בהתאם להנחה זו חולץ המהלך האלסטי בלבד באמצעות ניכוי הגדילה מהאות המקורי.

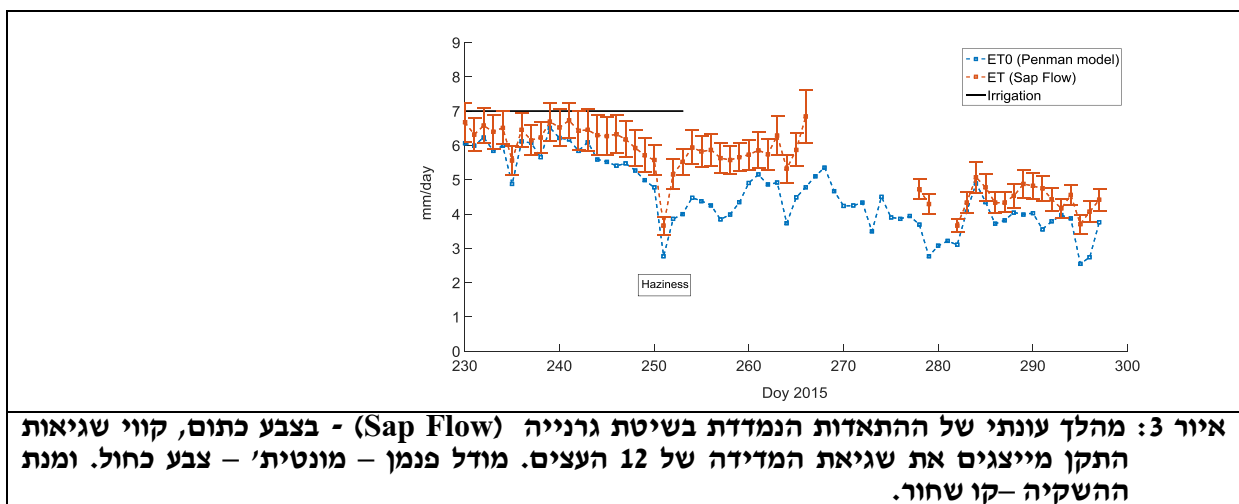
תוצאות

בעונת 2015 הסתיימה ההתקנה החלו המדידות ב- 18 לאוגוסט (Doy 230), ב- 10 לספטמבר הופסקה ההשקיה ונבדקה תגובת העצים להתפתחות עקת מים במשך 40 יום נוספים.

מהירות זרימת המים בגזע - על מנת להעריך את איכות המדידות של זרימת המים בגזע נעשתה השוואה בין המדידות להתאדות הפוטנציאלית על פי מודל פנמן – מונטיט' (איורים 2, 3):



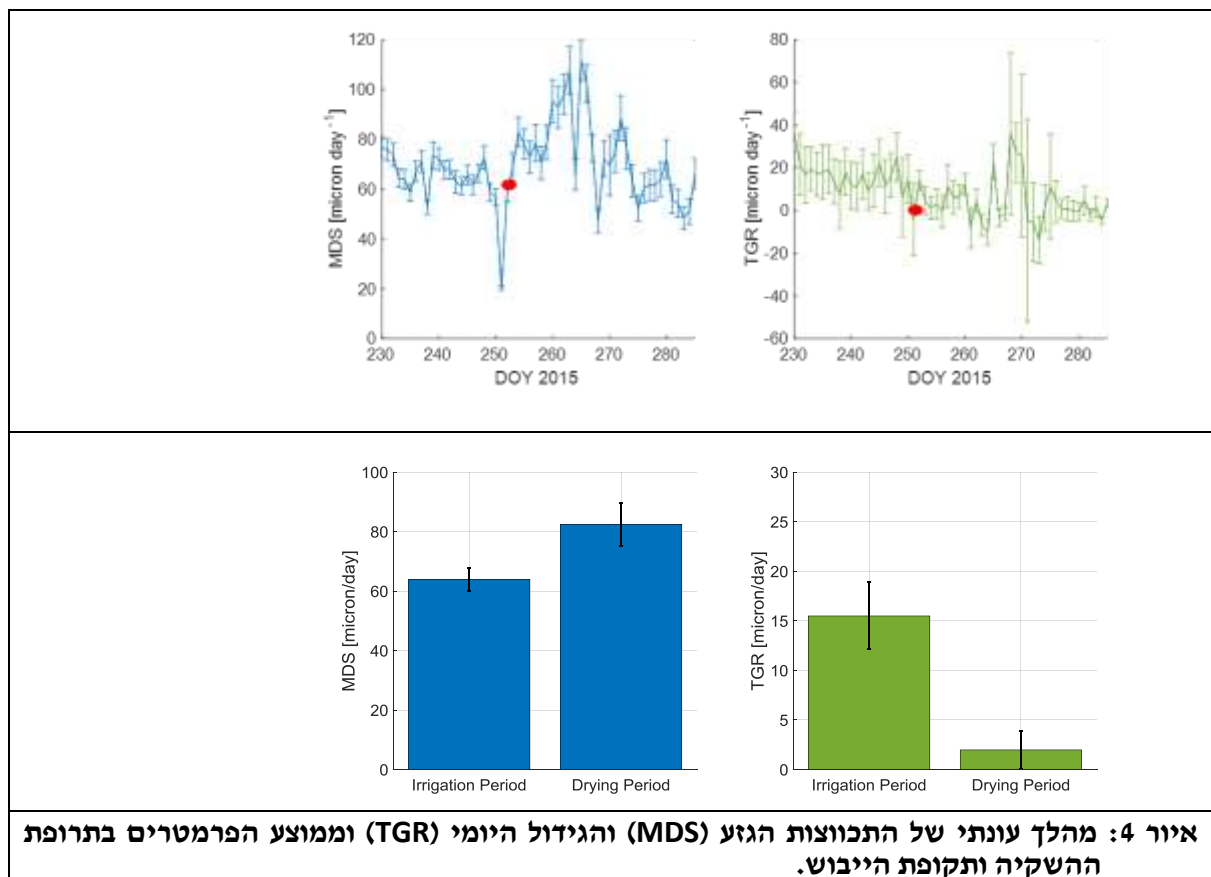
ווריאביליות בין עצים - על מנת לכמת ההבדל בין העצים בצריכת המים חושבה השוונות בין העצים ובין החיישנים בכול אחד מהעצים לאורך כל תקופת המדידה. תוצאות הניתוח מראות כי ההבדל הממוצע בין העצים עמד על 22%, וההבדל הממוצע בין החיישנים באותו העץ עמד על 15%. מבדיקה שנעשתה במעבדה במנהרת רוח לפני התקנת החיישנים בעצים נמצא כי ההבדל "הטכני" בין החיישנים עצמם עמד על 6%. לפיכך השוונות האמתית בין העצים יורדת ל- 16% והשוונות ההיקפית בתוך העץ יורדת ל- 9%.



דנדרומטריה: ההבדל הממוצע בין העצים בהתכווצות היומית בתקופת ההשקיה הינו 14% ובתקופת הייבוש הוא גדל ל- 21%. ההבדלים בגדילה היומית גדולים יותר - בתקופת ההשקיה הם עומדים על 55%, ובתקופת הייבוש על 75%.

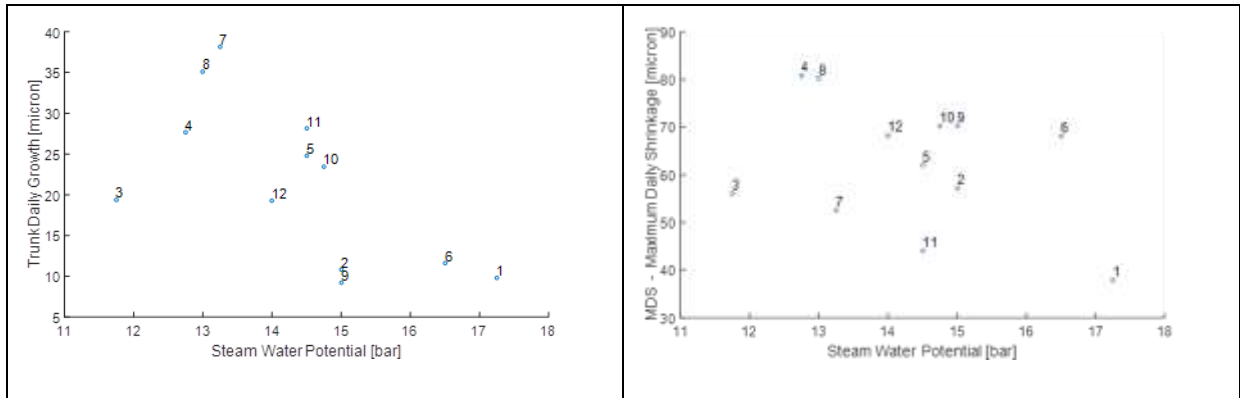
תגובת העצים לעקת מים - זרימה בגזע: רק לאחר 25 יום מעצירת ההשקיה נמדדה ירידה בצריכת המים. במשך כל התקופה הזו צריכת המים על ידי העצים הושפעה מתנאי האקלים ולא ניתן להבחין בירידה משמעותית עקב עקת מים.

דנדרומטריה: בתקופת ההשקיה ההתכווצות היומית קטנה יחסית (62 ± 4 מיקרון) (איור 4) ושיעור הגדילה של הגזע גבוה יותר (16 ± 3 מיקרון), לעומת זאת בתקופה שהופסקה ההשקיה ההתכווצות היומית גדלה (83 ± 7 מיקרון) והגידול היומי קטן (2 ± 1.5 מיקרון).

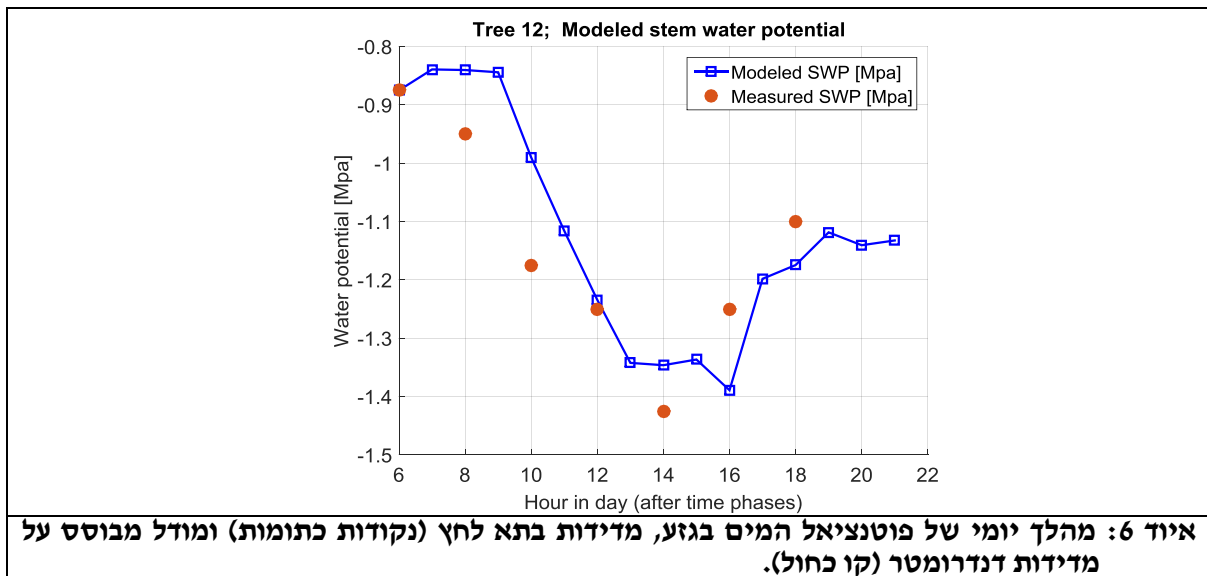


ניתוח נוסף מראה כי התגובה של הגדילה היומית לפוטנציאל המים הגזע נמצאת בקורלציה גבוהה יותר בהשוואה למדד ההתכווצות (איור 5).

חיזוי פוטנציאל המים באמצעות מודל דנדרומטריה - בעונה הנוכחית התמקד המחקר במימוש המודל המבוסס על מדידות הדנדרומטריה. בשלב ראשון השתמשנו במדידות עצמן בשביל לכוון את המודל ולחלץ את האומדן של ההשתנות היומית בפוטנציאל האוסמוטי ב-Bark. באמצעות שימוש במודל האלסטיות ובמוליכות ההידראולית המצוטטים בספרות ניתן היה לחשב את השינוי בפוטנציאל המים בגזע באמצעות השינויים בקוטר הגזע (איור 6).



איור 5: למעלה: ממוצע תקופתי של הגדילה היומית של כול אחד מעצי המדידה בהשוואה לפוטנציאל המים בגזע הממוצע בתקופה זו. מקדם המתאם של קו הרגרסיה הלינארית הינו 0.77. למטה: ממוצע תקופתי של ההתכווצות היומית של כול אחד מעצי המדידה בהשוואה לפוטנציאל המים בגזע הממוצע בתקופה זו. מקדם המתאם של קו הרגרסיה הלינארית הינו 0.13. המספרים לצד הנקודות מייצגים את מספר העץ בחלקה.



איור 6: מהלך יומי של פוטנציאל המים בגזע, מדידות בתא לחץ (נקודות כתומות) ומודל מבוסס על מדידות דנדרומטר (קו כחול).

התוצאות המוצגות באיור 6 מבוססות על ההנחה שבמקסימום היומי בקוטר הגזע מתקיים שיווי משקל בין פוטנציאל המים ב-Xylem לפוטנציאל המים ב-Bark ולכן פוטנציאל המים בגזע שנמדד בטרם שחר מייצג גם את פוטנציאל המים ברקמת ה-Bark. היבט נוסף של המודל שלא מוצג באיור 6 הינו ההפרש בזמן בין תגובת ההתכווצות בגזע לפוטנציאל המים בגזע, בשלב זה לא נעשה אפיון כמותי של התופעה הזו והמודל אינו מכיל את רכיב הקיבול שיאפשר לכמת את הפרש הזמנים בין שתי התופעות הללו.

מדידה רציפה של פוטנציאל המים בגזע – נרכשו שלושה חיישנים של חברת ICT ונבחנה התגובה שלהם באופן ראשוני. כרגע המיקוד הוא ביצירת בידוד תרמי טוב בשל הרגישות הגבוהה מאד של ערכי המדידה בגרדיינטים של טמפרטורה בחיישן.

דיון ומסקנות

ההתאמה הגבוהה בין מדידות הזרימה בגזע להתאדות הפוטנציאלית על פי מודל פנמן – מונטיטי' מחזקת את אמינות המדידות למרות שמבחינת הערך האבסולוטי הערכים הנמדדים גבוהים מאוד הן ביחס למנת ההשקיה והן ביחס להתאדות המחושבת מהמודל. על פי התוצאות הללו ונתוני ההשקיה מתקבל כי אחוז קליטת המים הינו גבוה במיוחד ועומד על 90%. על מנת לאמת את הממצאים הללו נבצע בעונה הבאה השוואה בין שיטת גרנייה לשיטה נוספת בכדי לבדוק את הערכים הגבוהים שהתקבלו.

אומדן השונות בין העצים מאפשר להעריך את דיוק התוצאות של המודלים הנבחנים במחקר זה. התוצאות מראות כי על אף שההשקיה הייתה אחידה התקבלו תגובות שונות במדדים השונים. ההבדלים הגדולים ביותר התקבלו במדד הגדילה היומית יותר מאשר במדד ההתכווצות היומית, נראה כי הגדילה של העצים מושפעת מאוד בפוטנציאל המים בגזע ובשניהם הווריאביליות הייתה יחסית גבוהה בהשוואה למדדים האחרים.

התגובה לעקת המים השפיעה באופן מידי על הגדילה היומית ועל ההתכווצות היומית. במוצע תקופתי שני המדדים מראים על שינוי משמעותי בעקבות הפסקת ההשקיה, וכנראה שהדינמיקה של הגדילה וההתכווצות תלויים באופן שונה במשק המים של העץ. ייתכן והדינמיקה של הגדילה מושפעת גם ממאזן הסוכרים וממשק המים וגם ממחזור הצימוח העונתי, ואילו ההתכווצות פחות תלויה במחזור הצימוח העונתי.

בחינת המודל וחיזוי פוטנציאל המים בגזע - בשלב זה התמקד המחקר השנה בהבנת המהלך היומי של פוטנציאל המים בגזע, מערכיו הגבוהים בטרם שחר עד לשיא בצהרי היום והחזרה לקראת הערב. ההתאמה הטובה בין הערכים המדודים לערכים החזויים מראה כי ניתן להשתמש במודל המוצע בכדי לחזות את פוטנציאל המים בצהרי היום על בסיס מדידת השתנות קוטר הגזע והצבת תנאי התחלה של פוטנציאל מים בטרם שחר. הפרמטר הנוסף שיש למדוד על מנת לקבל את החיזוי במלואו הוא ערכי הפוטנציאל האוסמוטי ברקמת ה-Bark לאורך היום. כאמור בעבודה זו חולצו הערכים הללו מתוך המדידות והתקבל כי בטרם שחר ריכוז כלל הסוכרים ברקמה זו הוא 0.22M (פוטנציאל אוסמוטי של -0.5Mpa), ובצהרי היום הריכוז גדל לערכים של 0.53M (פוטנציאל אוסמוטי של -1.2Mpa). בהספרות, נמצא כי בעצי אפרסק הריכוז האוסמוטי בשיפה נע בין 0.6 – 0.8 (M. E. Probert, P. S. Carberry, R. L. McCown 1998), מה שמתאים לתחום שנמצא בעבודה זו. בהמשך המחקר נמדוד את ההשתנות היומית והעונתית של הפוטנציאל האוסמוטי ב-Bark.

M. E. Probert, P. S. Carberry, R. L. McCown, and J.E.T., 1998. A ustralian J ournal of A gricultural R esearch. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, pp.317–327.

Mencuccini, M. et al., 2013. Concurrent measurements of change in the bark and xylem diameters of trees reveal a phloem-generated turgor signal. *New Phytologist*, p.n/a–n/a.