



משרד החקלאות ופיתוח הכפר



1. מו"פ ערבה דרומית, דוח שנתי 2023:

מספר מוקד: 82401

שם התוכנית: פיתוח מערכת השקיה דיפרנציאלית ליעול השימוש במים בהשקיה מתמשכת במטעי תמרים

Development of differential irrigation system for optimization of date palm irrigation

חוקר ראשי: אהוד צאלים, מו"פ ערבה ehudzeeim@gmail.com **דרומית**

חוקרים שותפים: ד"ר אלון בן-גל, קרקע מים והשקיה, מנהל המחקר החקלאי, מרכז מחקר גילת, bengal@volcani.agri.gov.il

עודד פרידמן, מדריך מחוזי שרות שדה, מחוז נגב, שה"מ odedf@shaham.moag.gov.il

סטטוס התוכנית: נמשכת

מועד התחלה וסיום התוכנית: 2023-2025

2. תקציר:

השקיית מטעי התמרים בערבה מתאפיינת בספיקות קבועות וגבוהות (75-100 ל"ש' לעץ, בעצים בוגרים) לפרקי זמן ארוכים (לעיתים מעל 14 שעות ביממה) ובתדירות השקיה יומית, כאשר קיימת דרישה אטמוספרית גבוהה. הסיבה לספיקות הגבוהות ולמשכי ההשקיה הארוכים היא הצורך לספק לעץ את הכמות המיטבית של מים ודשן הדרושים לעץ (כתלות בתנאי אקלים המדבר הקיצון, ובמאפייניו הפיזיולוגיים של הגידול), ומתווספת לכך כמות המים הנדרשת לתצרוכת השטיפה הגבוהה לצורך דחיקת מלחים מנפח בית השורשים (מלחים אשר הצטברותם עלולה להתרחש כתוצאה מהשימוש השכיח במים מליחים להשקיה באזורים אלה).

המערכות הקיימות מספקות את כמות המים והדשן הנדרשת באופן רציף וקבוע במהלך כל שעות ההשקיה, ללא תלות בשינויים המתרחשים בסביבה במהלך ההשקיה, ולכן אינן יעילות בבסיסן: בשעות הבוקר ושעות אחה"צ קיימת דרישה אטמוספרית שונה לחלוטין מהדרישה האטמוספרית בשעות השיא (צהרי היום), ולכן גם קצבי הקליטה של הגידול משתנים בהתאם לדרישה זו.

במחקר המוצע אנו מעוניינים לשפר את יעילות מערכת ההשקיה על ידי פיתוח מערכת השקיה דינמית המגיבה לשינוי באופוטנספירציה הפוטנציאלית השעתית ע"י שליטה בספיקה של יחידת הקצה. הפתרון

המוצע מבוסס על: 1) יכולות שליטה בספיקת אביזר ההשקיה; ו-2) התאמת הספיקה למשתנה הקליטה השעתי אותו נגזור ממודל התאדות פוטנציאלית מחושב ומוכר (פנמן-מונטיס'), בגרסתו השעתית. על ידי קביעה מדויקת של הספיקה כתלות בדרישה הפוטנציאלית הרלוונטית לשעת ההשקיה, אנו שואפים לחיסכון משמעותי במים ללא פגיעה ביבול, הקטנת העקה היומית, ושיפור יעילות ניצול המים ויצרנות המים במטעי התמרים בערבה, ובהמשך אף באזורים נוספים.

3. רקע, תיאור הבעיה ומטרות המחקר:

בערבה הדרומית גדלים כ-110,000 עצי תמר, רובם מזן מג'הול. צריכת המים השנתית של דונם תמרים באזור היא כ-2200-3000 מ"ק. הצריכה הכוללת של מטעי הערבה הדרומית היא כ-25 מל"מ"ק. סך צריכת המים של מטעי התמר באזורי הגידול העיקריים בישראל היא כ-150 מל"מ"ק. כלומר, צרכי ההשקיה של מטעים אלה, הנובעת ממאפייני הגידול מחד, וממאפייני אזורי הגידול העיקריים (אזורים צחיחים וצחיחים למחצה התאפיינים באידוי גבוה) מאידך, הינם בעלי השפעה נרחבת על משק המים באזורים אלה. לדוגמה: בערבה הדרומית קיים מחסור במי השקיה למטעי התמרים, הן מבחינת כמויות והן בהיבט תפעולי (ספיקות השיא מוגבלות בשעות השיא, בדיוק כשהן נדרשות להשקיה יעילה של הגידול). הגדלת כמויות מי ההשקיה הנדרשות נובעת מהתרחבות מטעי המג'הול במאות אחוזים בעשור האחרון. השימוש במים מליחים הנשאבים מבארות קידוח רבים המצויים לאורך הערבה גורם לירידת מפלסים באקוויפרים, והמלחתם, משתי סיבות: היותם מי ההשקיה מליחים במקור, והתרכזותם בחלחול החוזר לאקוויפר לאחר צרכת המים על ידי הגידולים ללא צריכת המליחים, והשימוש בדשנים. מעבר למשמעות החקלאית מתרחשת פגיעה סביבתית-הידרולוגית ועד היום לא ניתן מענה בר-קיימא לסוגיה זו.

השקיית תמרים בערבה הדרומית: ענף החקלאות המרכזי בערבה הדרומית הוא תמרים. היקף שטח הגידול האזורי הוא כ-8500-9000 דונם. מטעי התמרים מושקים במים שוליים ממספר מקורות: מי קידוחים מליחים (מוליכות חשמלית 2.2-6.5 דצ"ס/מ'), ומים מושבים שמקורם העיקרי בקולחי אילת (מוליכות חשמלית ~2.2 דצ"ס/מ'). מים אלה (מי הקידוחים והמים המושבים) הם מים באיכות נמוכה. האופוטורנספירציה השנתית הממוצעת (לפי פנמן-מונטיס') באזור נעה סביב 2500 מ"מ ובמונחי אידוי מגיגית עובי המים החופשיים הנצרכים הוא כ-3300 מ"מ בשנה. כמות המשקעים היא 24 מ"מ בממוצע רב שנתי ל-30 שנה ובעשור האחרון אף חלה ירידה בנתון זה, ולכן התשומות הטבעיות זניחות. היצע המים לשימוש חקלאי צפוי להשתנות עם כניסתם של מים מותפלים נוספים למערכת ושיפור איכות מי הקו. תכנית האב לאזור הערבה הדרומית ממליצה על אספקת מי השקיה לתמרים ברמת מוליכות חשמלית של 1.6 דצ"ס/מ'. בהתאם לכך, מטעי הערבה הדרומית יוכלו להשקות בעתיד במים שפירים, או בכל תמהיל אפשרי שלהם עם מים מליחים.

ממשק ההשקיה: המלצות ההשקיה למטעי תמרים מזן מג'הול המקובלות היום מתבססות על מקדמי השקיה המשתנים בהתאם לשלב הגידול, ומוכפלים בהתאדות היומית מגיגית או בהתאדות מחושבת על פי מודל פנמן-מונטיס' (Allen et al., 1998). העומד המקובל לנטיעת תמרים הוא 9X9 מטרים, כלומר 12.3 עצים לדונם. בשיא עונת ההשקיה נדרשת מנת מים יומית של כ-1000 ליטרים לעץ על מנת לספק את צרכי הגידול. מנה זו כוללת גם מנת תצרוכת שטיפת מליחים משכבת בית השורשים בהתאם לאיכות המים הנמוכה

(פרקציית שטיפה) (Tripler et al., 2011). את המים רצוי ונהוג לספק במהלך שעות האור בהן מתקיימת קליטת המים העיקרית של הגידול ופעילות פוטוסינתטית משמעותית על מנת לשמור על תכולת רטיבות מיטבית בבית השורשים וחידוש מלאי המים הזמינים לקליטה על ידי הגידול. נקבוביות הקרקע בערבה אינה גבוהה ($P \sim 0.3-0.5$), ושונה כתלות בטיפוס הקרקע. המוליכות ההידראולית (הרוויה) שונה גם היא כתלות בטיפוס הקרקע כאשר בקרקעות חוליות המוליכות ההידראולית גבוהה ומאפשרת קצב חידור של שטף ההשקיה גם כאשר הספיקות גבוהות, ואילו בקרקעות הבינוניות (סיין חולי) קיימת בעיית חידור ובספיקות ההשקיה הגבוהות מצטברים מים חופשיים על פני הקרקע הגורמים ל: 1. בעיות אוורור (תנאים אנארוביים בקרקע); 2. איבוד מים לאטמוספירה כתוצאה מאידוי מים חופשיים; 3. בית גידול לזחלי יתושים המהווים מטרד לתושבי האזור; ו-4. חוסר יכולת לספק למערכת השורשים את מנת המים הדרושה בזמן. כדי להקטין את היקף התופעה, נהוג להשקות בספיקות טפטוף שאינן עולות על 75-100 ליטר לעץ. בהתחשב בצורך לספק את הדרישה היומית הגבוהה של הגידול בעונת השיא, נוצר מצב בו ההשקיה נמשכת כ-14 שעות ולעיתים אף יותר מכך (בתדירות השקיה יומית).

במערכות ההשקיה הנמצאות בשימוש קיימת ספיקת מערכת אחת שאינה ניתנת לשינוי במהלך היום ותלויה בספיקת אביזר הקצה (האביזרים המקובלים הם: טפטפת, מתז או מטף) המותקן במערכת. מהלך האופוטורנספירציה היומי לעומת זאת, משתנה וצורתו המחזורית בעלת מבנה פונקציית סינוס רציפה. לכן, קיים פער מתחייב בין ערך הדרישה של הגידול ודרישת האטמוספירה (המשתנים באופן רציף) לבין תשומת המים הניתנת באופן אחיד (פונקציה הספיקה במערכות הקיימות כיום היא פונקציית מדרגה בעלת שני ערכים קבועים: אפס או ספיקה X קבועה). פער זה בין פונקציית הדרישה הפוטנציאלית לבין פונקציית ספיקת המערכת יכול לגרום לכמה תופעות במקביל:

(א) שינויים גדולים בתכולת הרטיבות בקרקע וחוסר יכולת לשמור על ערך מיטבי של משתנה זה.
(ב) עודפי מים ודשן שאינם מנוצלים ונשטפים אל מעבר לשכבת בית השורשים.
(ג) ריבוי והקצנת אירועי הצפת הקרקע והצטברות מים חופשיים על פני הקרקע.
תופעות אלה אינן רצויות בהיבט החקלאי, מכיוון שהן עלולות לגרום לירידה ביעילות השימוש במים ודשן, ולפגוע בגידול עקב היווצרות תנאים לא מיטביים בקרקע, ובהיבט הסביבתי: עקב פוטנציאל לזיהום מי תהום וריבוי והקצנת אירועי הצפת הקרקע התורמת את חלקה להגדלת מטרד התושבים.
לכן, אנו רואים בניהול יעיל וחסכוני של השקיית מטעי המג'הול ומטעי התמר בכלל באזורי הגידול העיקריים, תנאי הכרחי להמשך קיום הענף, תוך שימור המשאבים הטבעיים המוגבלים.

4. מטרות המחקר:

(א) פיתוח מערכת השקיה בעלת ספיקה משתנה באופן שנותן מענה טוב יותר לדפוס האופוטורנספירציה השעתי

(ב) בחינת יעילות מערכת זו בשלב ראשון בחלקת תצפית, ובשלב שני במטע מסחרי ובהמשך הטמעתה בחלקות מסחריות נוספות.

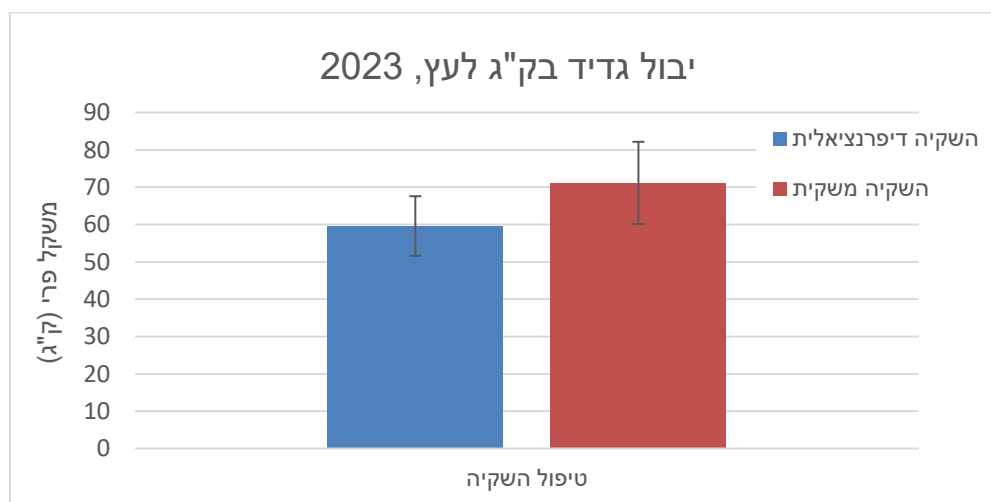
5. מהלך המחקר ושיטות העבודה (תכנון לעומת ביצוע):

משימה 1: במערך ההשקיה הדיפרנציאלית, נבנתה מערכת בקרה מבוססת נתוני המטאורולוגיה של תחנת יטבתה (השירות המטאורולוגי), ובמהלך השנה התבצע המעבר להשקיה אוטונומית המבוססת על נתוני פנמן-מונט'ס' שעתיים כמתוכנן. האינטגרציה המתוכננת עם הנתונים המטאורולוגיים מתקיימת החל מתחילת 2023. ההשקיה בפועל החל מקבלת נתוני מטאורולוגיה מתחנת יטבתה (של השירות המטאורולוגי), דרך הפעלת אלגוריתם השקיה ייחודי תלוי ערך אידוי פוטנציאלי (פנמן-מונט'ס' שעתי) ועד יחידות הקצה המסוגלות לספק ספיקה משתנה, פועלים כמערכת אחת. בחלקת התצפית שני טיפולים בשתי תתי-חלקות: 1. טיפול השקיה משקי הכולל 19 עצים, וטיפול השקיה דיפרנציאלית הכולל 20 עצים. בכל תת חלקה מוצבת מערכת טנסיומטרים למעקב אחר פוטנציאל המים בקרקע בשלושה עומקים (30, 60 ו-90 ס"מ).

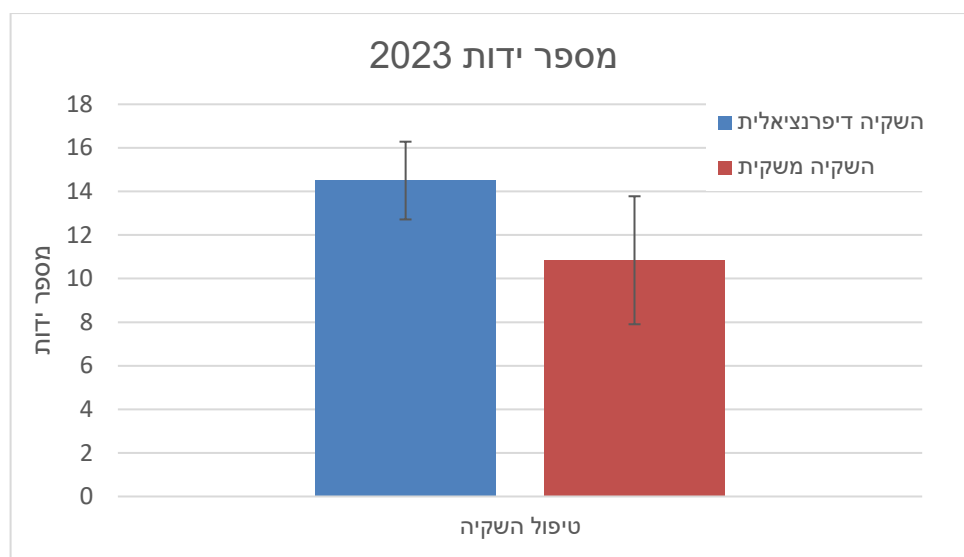
משימה 2: בוצעו השנה כל הפעולות האגרוטכניות כמקובל במטע מסחרי, על פי לוח זמנים שנתי מפורט הכולל קיוץ, האבקה, דילול ידות ודילול פרי על כל ידה, עטיפה בשקים, גדיד בשני סבבים, ניקיון ידות וגזום, וכו'.

הפרי הנגדד נשקל והועבר למיון לפרקציות איכות המקובלות בבית אריזה "ערדום". תוצאות השקילה מוצגות בתרשים 1. תוצאות מיון הפרי על פי קטגוריות איכות לגדיד 2023 יוצגו בדוחות הבאים לאחר מיונו בית האריזה.

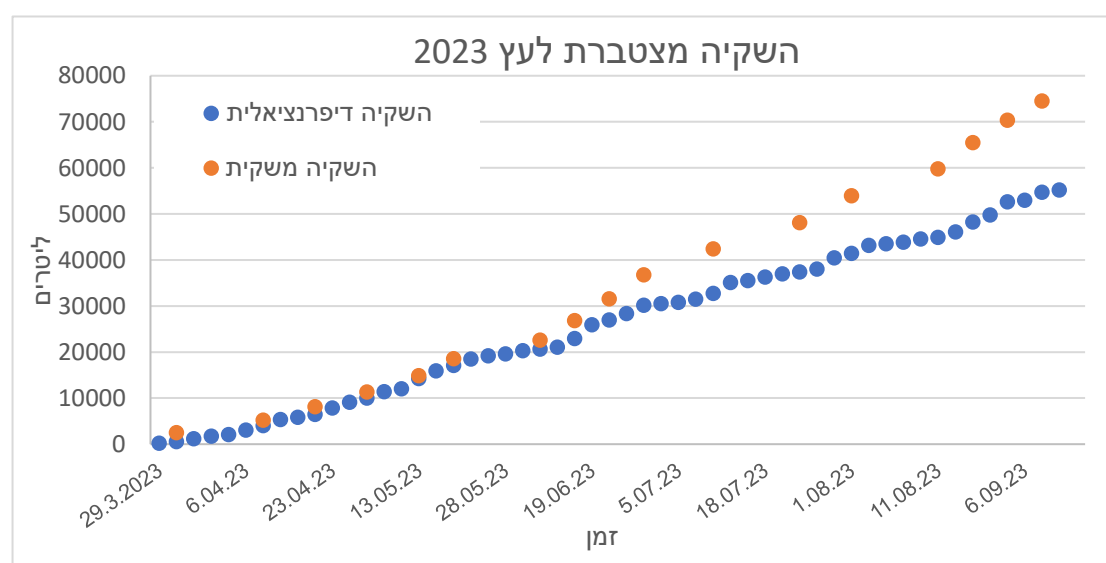
6. תוצאות ביניים:



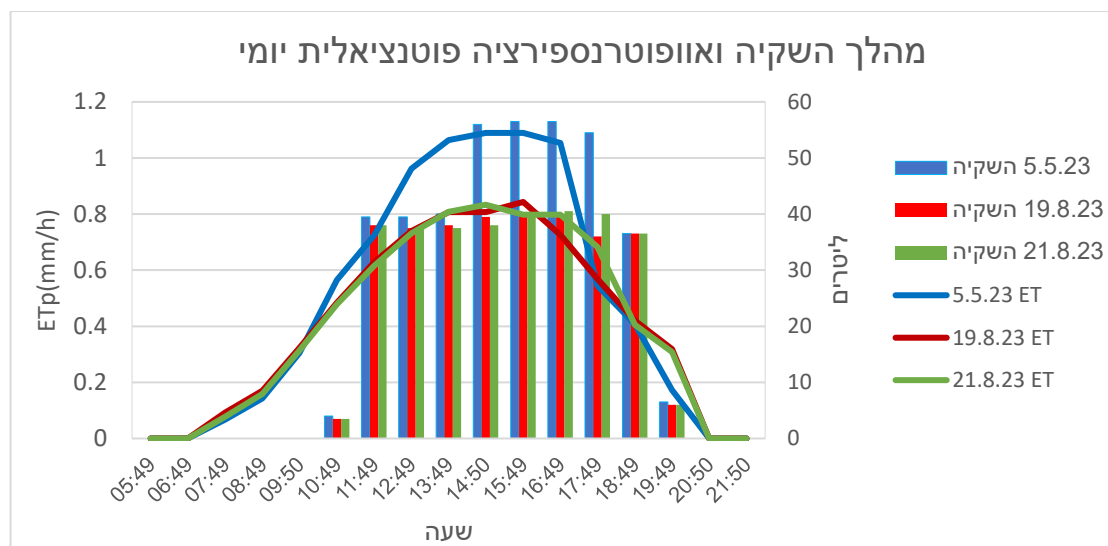
תרשים 1: בטיפול המשקי התקבל יבול גבוה בכ-15% מהטיפול הדיפרנציאלי, אך השונות בין העצים גבוהה, והתוצאות אינן מובהקות סטטיסטית ($\alpha=0.05$).



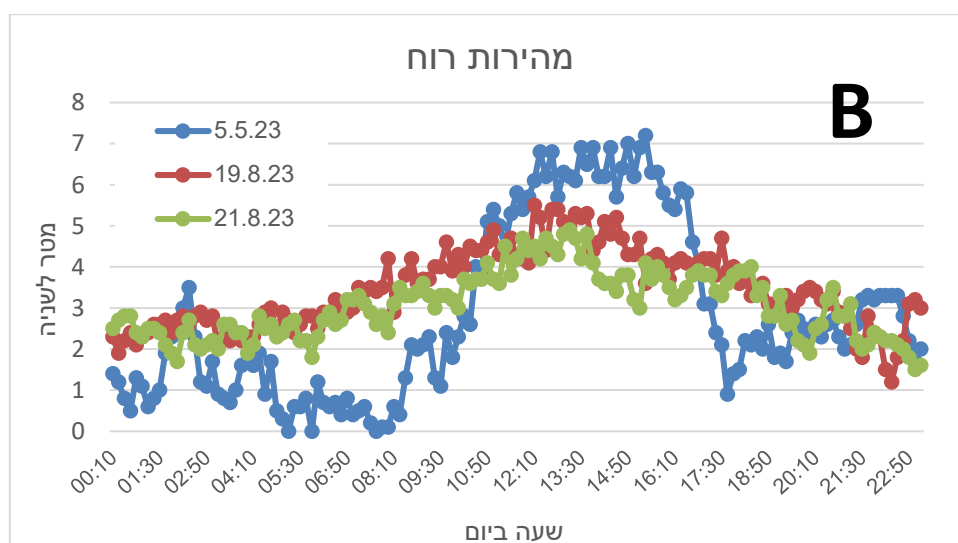
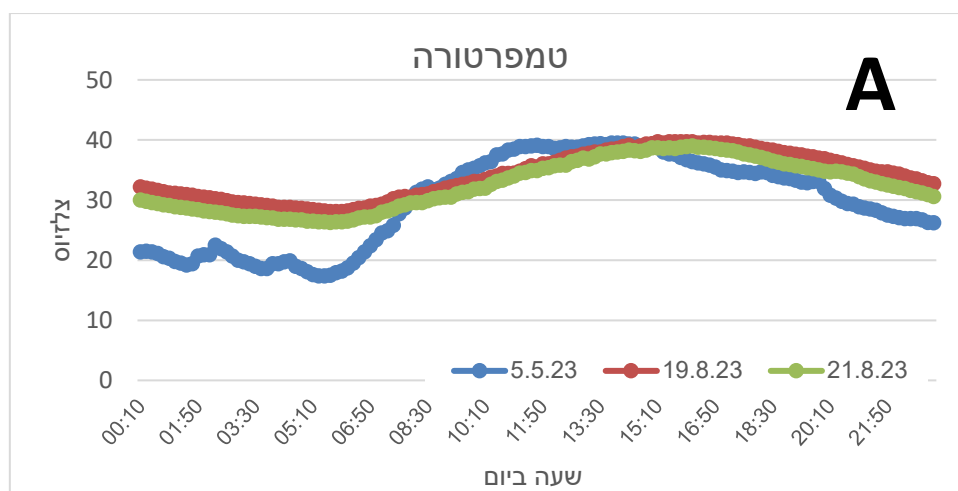
תרשים 2: מספר הידוֹת שצומחות מדי עונה הוא מדד מקובל לחיוניות העץ. ניתן לראות טיפול ההשקיה הדיפרנציאלית מספר הידוֹת היה גדול בכ-25% ב-2023, אך ההבדלים אינם מובהקים סטטיסטית ($\alpha=0.05$). זוהי תוצאה ראשונית שככל הנראה אינה קשורה בהכרח טיפול ההשקיה, שהחלו בתחילת 2023 ולכן השפעתם על הצצת הידוֹת זניחה, אלא להיסטוריה של החלקה ולגורמים אחרים.

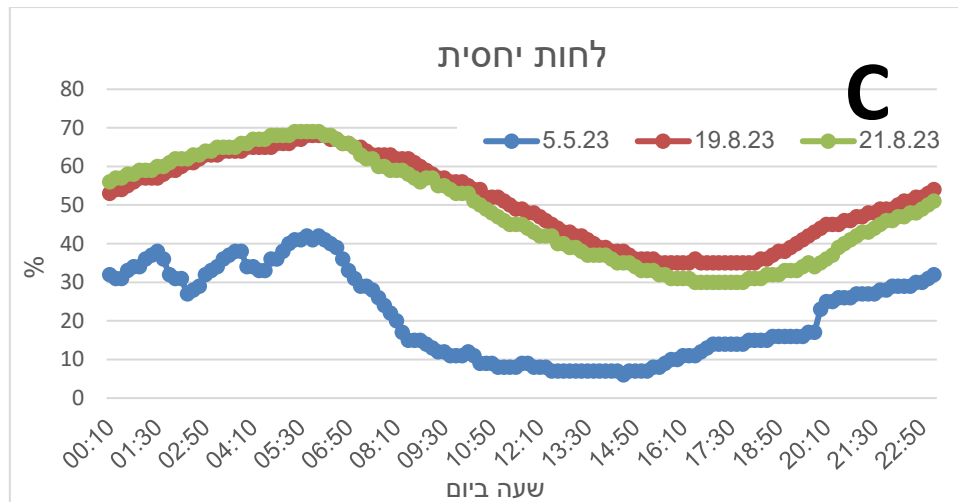


תרשים 3: מוצגת כמות השקיה מצטברת בשני טיפולי הניסוי, השקיה משקית והשקיה דיפרנציאלית המבוססת על נתוני פנמן-מונטיס' שעתיים המתקבלים מהתחנה המטאורולוגית ביטבתה. הנתונים המוצגים הם של סך ההשקיה בין מרץ לספטמבר, בעונת ההשקיה העיקרית, בחישוב לעץ בודד. מנת ההשקיה המשקית המצטברת הייתה גדולה בכ-25% מהמנה המצטברת בהשקיה הדיפרנציאלית (380 לעומת 305 ליטר לעץ ליום במוצע לתקופה זו, בהתאמה).



תרשים 4: דוגמה למהלך יומי של אופוטנספירציה פוטנציאלית (ETp) על פי פנמן-מונטס' שיתי (קווים רצופים) ומנות ההשקיה השעתיות (מצטברות בשעה) בעמודות. בתרשים מוצגים 3 ימי ניסוי, והנתונים עבור כל יום, יום אחד במאי, ויומיים באוגוסט 2023. ניתן לראות את השפעת השינוי של ערך ה-ETp, הערך ב-5.5.23 היה גבוה יותר מהערך ב-19-21.8.23 והתבטא מיד באותו יום בספיקות המערכת.





תרשים 5 (A,B,C): בתרשימים A,B ו-C מוצגות מדידות יומיות של המשתנים טמפרטורה, מהירות רוח, ולחות יחסית, אלו משתנים בעלי השפעה על הדרישה האטמוספרית וההשקיה הנגזרת מדרישה זו כפי שמוצגת בתרשים 4. מעניין לראות את ערכי הטמפרטורה הכמעט זהים במקרה המתואר (A), את מהירות הרוח הגבוהה יותר והלחות הנמוכה יותר בחודש מאי (B,C). נתונים אלה הם חלק מהבסיס עליו מושגת חישוב ה-ETp השעתי ודרכם ניתן להסביר את הצורך בשימוש בהם בתדירות גבוהה על מנת לקבל השקיה בספיקה המתכתבת עם השינויים ברזולוציה שעתית.

7. דיון:

ההשקיה הדיפרנציאלית נקבעת על פי ערך אידיוי פוטנציאלי שעתי, המוכפל במקדם גידול שתלוי בגיל העץ (או מידת הכיסוי הצמחי LAI (Leaf Area Index), ואולי בגורמים נוספים, כגון עומס יכול, ובאופן עקיף גם באיכות מי השקיה. יש קושי בסיסי בקביעת מקדם זה, לא תלות בסוג ההשקיה, אולם קיימים מקדמים מקובלים בהם נעשה שימוש בהשקיה משקית. נשאלת השאלה האם המקדמים הללו מתאימים לשימוש בהשקיה דיפרנציאלית בפרט. במהלך השנה מקדם זה הוחלף מספר פעמים בערכים שנעים בין 0.6-1, כאשר הערך 1 אמור לייצג מטע בוגר (שבו הצריכה היא מרבית בהתאם לאידיוי הפוטנציאלי). כתנאי ראשוני ומכיוון שאין מספיק נתונים מחלקת הניסוי, קבענו את המקדם על ידי ניסוי וטעיה כך שלא יגרור להשקיה במנות גדולות או קטנות באופן משמעותי מהמנות הניתנות בהשקיה המשקית. נמצא שמהלך העונה החמה המקדם המתאים נקבע בין 0.6-0.8, ובעונה הקרה יותר נדרשנו להגדיל את המקדם לערכים של 0.7-0.9. כוונתנו היא להמשיך ולדייק את המשתנה מקדם הגידול בהתאם לתנאים, גיל העצים וכו'. פרמטר נוספים באלגוריתם ההשקיה שמשפיעים על אופן ההשקיה (כמות, תזמון) הם גבולות ההפעלה והסגירה של כל ספיקה במערכת. גבולות אלה נקבעים על פי הקשר בין הספיקה לנתון ETp (או פוטנציאל פוטנציאלי) השעתי המתקבל מהתחנה המטאורולוגית, אולם קיים קושי בקביעת ערך הסף לפתיחת הספיקה הראשונה, וכתנאי ראשון קבענו ערך זה לכ-10-20% מהערך המקסימלי. המשמעות היא שבזמנים בהם הדרישה האטמוספרית קטנה מערך זה, ההשקיה לא נפתחת כלל, כלומר חלק ממנת המים הנדרשת אינה ניתנת כשהדרישה נמוכה מאד.

תגובת המערכת לשינויים בערך השעתי של ETp המחושב ממשוואת פנמן מונטיס' הוכחה כמתאימה לשינוי הערך.

8. ביבליוגרפיה:

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), p.D05109.

Shani, U. and Or, D., 1995. In situ method for estimating subsurface unsaturated hydraulic conductivity. *Water Resources Research*, 31(8), pp.1863-1870.

Tripler, E., Shani, U., Mualem, Y. and Ben-Gal, A., 2011. Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity. *Agricultural Water Management*, 99(1), pp.128-134.

9. סיכום עם שאלות מנחות:

א. פירוט עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח:

הוקם מערך ניסוי השקיה דיפרנציאלית בחלקת 39 העצים במו"פ, ובוצע סיכום נתוני היבול בחלקה (למעט מיון פרי לקטגוריות איכות, יבוצע בהמשך), הצריכה המצטברת, והשוואה בין השקיה משקית רגילה להשקיה דיפרנציאלית.

ב. פירוט כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת המחקר או חלק מהן:

בשלב זה מבוצע פיתוח המערכת ואופן הפעלתה המיטבי, נאספים נתונים שיאפשרו את שיפור היעילות בשימוש במערכת על פני השקיה משקית, כולל מעבר לחלקה מסחרית להמשך ניסוי בשנתיים הקרובות.

ג. בהתאם להצעה המקיפה ציין מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני הדרך

בוצעו כל המשימות ואבני הדרך המתוכננות לשנת המחקר הראשונה.

ד. הגדרת היעדים הכמותיים למחקר והיעדים היישומיים למחקר אשר הושגו לתקופת המחקר

בשלב זה בסיום שנתו הראשונה של המחקר והיעדים הכמותיים והיישומיים היו ביצוע הניסוי על פי התכנון ואיסוף נתונים רב ככל הניתן.

ה. מהן המסקנות המדעיות ומהן ההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו

תוצאות שנה זו מלמדות על דפוס השקיה שונה מאד המתקבל כתוצאה מהשימוש בנתון פנמן-מונטיס' שעתי בהשוואה להשקיה משקית. דפוס זה טומן בחובו פוטנציאל לחיסכון ולייעול ההשקיה מחד, וצורך בפתרון בעיות ספציפיות שהתעוררו עקב השינויים בדפוס ההשקיה מאידך. ההשלכות מכך הן שנדרש מיקוד מאמץ בפתרון השאלות שהתעוררו על מנת להפיק מהמערכת את הפוטנציאל הטמון בה ללא פגיעה ביכולת להתגבר על תנאים משתנים ואיכויות מים נמוכות השכיחים בערבה הדרומית.

ו. מהן הבעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים טכנולוגיים שיוקיים ואחרים שחלו במהלך

העבודה ומה אמורה להיות התייחסותך בהמשך:

מהלך 2024 אנו מתכננים להקים את המערכת בחלקה מסחרית באחד ממשקי הערבה הדרומית. על מנת ליישם השקיה דיפרנציאלית ישנן סוגיות טכניות של העברת נתונים בין התחנה המטאורולוגית לבין בקר ההשקיה שאינן פתורות עדיין. בימים אלה אנו שוקדים על פתרון. בנוסף, נדרשת התייחסות לשאלות שעדיין נותרו פתוחות: מהו מקדם ההשקיה הדרוש בכל עונה, בהתאם לגיל החלקה, כיצד ליישם שטיפות דחיקת מלחים מאזור בית השורשים, והתייחסות להפעלת המערכת בתדירויות השקיה נמוכות.

- ז. פעילויות שנעשו במו"פ במהלך התקופה: בוצעו סיורים למגדלים, חוקרים וסטודנטים
- ח. פרסומים בעיתונות מבוקרת או עיתונות בעברית שנבעו מהמחקר: אין פרסומים
- ט. ציון השפעת המחקר על כלכלת החקלאות באזור, או תרומה מעשית למארג האגרו-אקולוגי באזור

תרומת מערכת ההשקיה הדיפרנציאלית מתבטאת בשימוש יעיל יותר במי השקיה, שהינם משאב בחסר בערבה הדרומית. על ידי יישום מנות ההשקיה במועד המדויק ובכמויות המדויקת נשאף לשיפור כלכליות הגידול מבחינת חסכון במשאב מחד, ושיפור היבול (כמות ואיכות) מאידך.

- י. עם אילו מו"פים נוספים מתוכנן שת"פ במחקר הנוכחי או בעתיד כהמשך למחקר הנידון
אין שיתוף פעולה עם מו"פים נוספים במחקר זה
- יא. המלצות להמשך המחקר או שינוי המחקר

המחקר נמשך על פי התכנון המקורי, המשך השגת יעדי הוצאת מערכת דיפרנציאלית אל חלקה מסחרית ופתרון סוגיות הקשורות באלגוריתם ההשקיה יתבצעו במהלך השנה הקרובה (2024)

יב. פטנטים שנבעו מהמחקר: אין