

צוות המחקר: שמואל אסולין, כפיר נרקיס - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה; מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, אבנר זילבר, הדר כהן, רמי בר-זיו, מנשה לוי, יעל בר-נוי, נמרוד וולף - מו"פ צפון

תוכן עניינים

2	תקציר
3	מבוא
3	מטרות המחקר
3	שיטות העבודה
5	תוצאות
5	יבול 2020-21
7	מנות המים במהלך העונה ומצב המים בצמח
8	פוטנציאל מים בגזע
9	דנדרומטריה
11	מתח מים בקרקע
12	ריכוז חמצן בחללי הקרקע
13	מרכיבי מליחות בקרקע
14	מידול והדמיה
19	רשימת ספרות

תקציר

המטרה הכללית של מחקר זה הייתה לאפיין את ההשפעה של איכות מי השקיה על תכונות הקרקע, התפתחות העצים והיבול במטע אבוקדו בשבי ציון. הטיפולים בניסוי היו: השקיה במי קולחים במנת השקיה משקית, השקיה במים שפירים (מעיינות כברי) בשתי מנות: מנה משקית ומנה מיטבית (על פי נתוני ההשקיה בחלקה המיטבית בחוות עכו), השקיה במי מיהול במנה המשקית בשתי רמות מיהול: שליש קולחים-שני שליש שפירים, שני שליש קולחים-שליש שפירים. אולם, קרה חריפה בחורף 2016-7 פגעה קשות בחלק גדול מהעצים ולכן, יבול 2017-8 הושפע בעיקר מהקרה ולא מהטיפולים בניסוי. שרב כבד וממושך בימים 17-23 מאי שלוה בלחות נמוכה ובטמפרטורות קיצון הביא לנשירה גדולה של חנטיים\פירות ופגיעה קשה ביבול. היבול הממוצע לדונם לכל הטיפולים בשנת 2020 היה 1.1 טון, נמוך בהרבה מיבול 2019. הפגיעה ביבול הייתה סלקטיבית, ז.א., עצים שמועד החנטה העיקרי שלהם התרחש בשבוע ששבוע נפגעו קשה יותר מעצים שחנטו מוקדם יותר. אינפורמציה שהתקבלה מהדנדרומטרים הייתה צמודה לאירועים (שרב כבד), מדויקת, שקפה היטב את מצב העצים ויכולה להיות בסיס מהימן לשינויים נדרשים במשטר ההשקיה. לעומת זאת, תגובת הטנסיומטרים לשרב הכבד הייתה מאוד איטית (שישה ימים לאחר תחילתו) והם נשארו גבוהים במהלך כל חודש יוני 2020. השפעת איכות מי השקיה על מרכיבי המליחות בקרקע כגון EC, נתרן, כלוריד, בי-קרבונט ו- ESP היתה ברורה ומובהקת סטטיסטית. נתוני כושר חידור מים מצביעים על פגיעה משמעותית בתכונות ההידראליות של הקרקע שנגרמה בגלל שינויים במבנה החללים, זאת כתלות בזמן ובכמות מי הקולחים שעברה דרך חתך הקרקע. מקובל בדרך כלל כי ניתן לפצות על העלייה בפוטנציאל האוסמוטי (מליחות) של מי השקיה באמצעות הגדלת מנת ההשקיה בבחינת: "כמות מחפה על איכות". אולם, נראה כי הנחה זו היא בעייתית במקרה של השקיה בקולחים בגלל הירידה בתכונות ההידראליות של הקרקע.

מבוא

ענף המטעים בארץ מנצל כ- 25% מכלל הקרקע החקלאית המעובדת (750,000 דונם), כאשר רוב המטעים נטועים על קרקע בינונית וכבדה. קרוב ל-50% מהמים המופנים כיום לחקלאות הינם מי קולחים מושבים. כ- 330,000 דונם מטעים מושקים במי קולחים. לאחרונה סוכמו מספר מחקרים שונים אשר בחנו את ההשפעה של שימוש ארוך טווח במי קולחים להשקיה של מטעי הדורים ואבוקדו הנטועים על קרקע כבדה על תכונות הקרקע ועל התפתחות העצים (קרקע כבדה על תכונות הקרקע ועל התפתחות העצים (Assouline & Narkis, 2011, 2013; Assouline et al., 2016), מחקרים אלו הצביעו כי השקיה בקולחים הביאה לעלייה משמעותית ברמת המליחות וברמת הנתרון של הקרקע שגרמה לפחיתה משמעותית במוליכות ההידראולית של הקרקע ובכושר חידור המים (Infiltration). כתוצאה מכך, קצב הנשימה, כושר ההולכה של מערכת השורשים, חילוף הגזים, רמת הפוטוסינתזה, והגידול של עצים שהושקו במי קולחים היה נמוך משמעותית בהשוואה לעצים שהושקו במים שפירים. מכאן עולה חשש גדול כי השקיה במי קולחים תגרום לפגיעה משמעותית בתכונות הקרקע, בעיקר בקרקע כבדה, ולירידת יכולים שתביא לשחיקה ברווחיות הענף ולחוסר יכולת לקיים חקלאות בת קיימא המתבססת על השקיה במי קולחים.

הטיפולים בניסוי הופעלו באמצע חודש מאי 2015 אולם קרה חריפה בסוף ינואר 2016 פגעה קשות בצימוח הצעיר וגרמה לנשירה של חלק גדול מפקעי הפריחה וכתוצאה מכך, יבול 2016-7 הושמד כמעט לחלוטין. בעקבות הקרה, בוצע גיזום מסיבי בעצי שנפגעו וכתוצאה מכך, נוצר חוסר אחידות גדול במטע שהשפיע כמובן גם על יבול 2017-8.

מטרות המחקר

המטרה הכללית של מחקר זה הייתה: (א) בניית מסד נתונים לבחינה כלכלית של השפעת איכות המים על רווחיות מטעי אבוקדו; (ב) בחינת ההשפעה של מיהול מי הקולחים עם מים באיכות גבוהה על תכונות הקרקע, התפתחות העצים והיבול במטע אבוקדו בשבי ציון; (ג) איסוף נתונים לבנית מערך הדמיה שיאפשר זיהוי ממשק מיטבי עפ"י נתוני קרקע ומים מקומיים; ו – (ד) בחינת ממשק ההשקיה מיטבי לקרקע כבדה מושקית בקולחים.

שיטות העבודה

המחקר התבצע במטע אבוקדו בשבי ציון, זן האס על כנה פרצ'ילד, נטיעת 2010. מרווח הנטיעה הוא 4X6 מטר (41.7 עצים לדונם), עם עצי אטינגר כמפרה (עץ שלישי כל שלוש שורות). התנאים המטאורולוגיים (נתוני השירות המטאורולוגי לתחנת עכו) באזור הניסוי במהלך שנת 2019 מוצגים באיור 1. הקרקע מכילה כ-70% חרסית, קיבול קטיונים חליפים (קק"ח) 40-45 מא"ק לליטר, ריכוז גיר כללי של 7-8 אחוז, SAR בקרקע של 3.5. החלקה מושקת במי קולחים החל משנת 2010. מקור מי הקולחים ממאגר שמרת ולוחמי הגטאות. נתוני איכות מי הקולחים והשפירים מוצגים בטבלה 1. חשוב לציין כי איכות מי הקולחים לא הייתה קבועה במהלך השנה והשתנתה בהתאם לאיכות מי המקור שנכנסו למתקן טיהור הקולחים. צימת מיהול הוקמה במקום.

טבלה 1. הרכב מי הקולחים והשפירים בניסוי שבי ציון.

	שפירים	קולחים
pH	7.0-7.6	7.4-8.3
EC (dS m ⁻¹)	0.8-0.9	1.2-1.6
Cl (mg L ⁻¹)	60-70	160-180
Na (mg L ⁻¹)	20-30	80-190
Ca (mg L ⁻¹)	100-120	60-100
Mg (mg L ⁻¹)	30-40	20-35
HCO ₃ (meq L ⁻¹)	6.3-7.2	5.6-7.7

ככלל, ערכי המליחות בקולחים הייתה נמוכה בראשית השנה והם עלו במהלך הקיץ. לדוגמא: ערכי TSS במאגר שמרת עלו מ- 10 ל- 20 מ"ג לליטר מחודש ינואר לחודש ספטמבר 2019, ריכוזי כלוריד עלו מ- 160 ל- 280 מ"ג לליטר בחודשים אלו, ריכוזי נתרן עלו מ- 40 ל- 200 מ"ג לליטר בחודשים אלו. בנוסף למרכיבי מליחות, מי הקולחים הכילו גם יסודות מזון בריכוז של (מ"ג לליטר): 10-25 חנקן, 1-4 אמוני, 0.5-4 זרחן, 20-50 אשלגן, 60-90 סידן ו- 20-35 מגנזיום.

הטיפולים בשנת 2020 היו:

- השקיה במי קולחים במנת השקיה משקית (WW) - 3.6 דונם, 8 שורות, 149 עצים, מנת השקיה המקובלת האזור (משקי).
 - השקיה במים שפירים (מעיינות כברי) בשתי מנות: ב1 - מנה משקית (FW); ב2 - מנה מיטבית (על פי נתוני ההשקיה בחלקה המיטבית בחוות עכו - FW-Ak); כל טיפול כולל 2.7 דונם, 6 שורות, 110 עצים.
 - השקיה במי מיהול במנה המשקית בשתי רמות מיהול: ג1 - שליש קולחים-שני שליש שפירים (0.33WW); ג2 - שני שליש קולחים-שליש שפירים (0.66WW); כל טיפול כולל 1.7 דונם, 4 שורות, 73 עצים, מנת השקיה המקובלת באזור (משקי).
- סה"כ:** ארבעה טיפולים הבוחנים את השפעת איכות מי ההשקיה (FW ; 0.33WW ; 0.66WW ; WW) ושני טיפולים הבוחנים את מנת המים (שפירים) במהלך כל העונה (FW ; FW-Ak).
- ההשקיה הייתה באמצעות שתי שלוחות טפסוף לעץ, 1.6 ליטר לטפטפת במרווח של חצי מטר. סה"כ מנת המים בטיפול הקולחים, שני טיפולי המיהול ושפירים (FW, 0.33WW, 0.66WW, WW) במהלך 2019 הייתה 930-970 מ"ק לדונם ואילו בטיפול שפירים-עכו (FW-Ak) הייתה 1200 מ"ק.
- הדישון היה רציף במהלך כל ההשקיות, ריכוזי יסודות המזון בטיפולים, FW, 0.33WW, 0.66WW ו- WW היו זהים (K-35, P-6, N-33) ואילו בטיפול FW-Ak היו: K-50, P-10, N-40, דשן "גופר 4-2-6" מתוצרת "דשנים וחומרים כימיים" בתוספת יסודות קורט (3%).

מדידות ומעקב:

בקיץ 2017 סומנו 10 עצים מכל טיפול שלא נפגעו קשות מהקרה (עצי מדידה). על עצי המדידה מוקמו חיישני הדנדרומטרים, עליהם מבוצעות מדידות תא הלחץ, וסמוך עליהם מוקמו חיישני הטנסיומטרים והחמצן. טנסיומטרים - מעקב אחר פוטנציאל המים בבית השורשים בעזרת טנסיומטרים דיגיטליים שהוצבו ליד עצי המדידה (NT) ובין העצים (BT). הטנסיומטרים הוצבו מתחת לטפטפת בעומק של 20, 40 ו- 60 ס"מ. דנדרומטרים - בכל טיפול הוצבה תחנה של דנדרומטרים שכללה שלושה רגשים תוצרת פיטק.

דיגום קרקע בשלושה עומקים (0-20, 20-40 ו-40-60 ס"מ) מתחת לטפטפת ליד עצי המדידה (NT) ובין שני עצים (BT) בוצע בתאריך 10 לספטמבר 2019. מדגמי הקרקע נבדקו במעבדת שרות השדה צמח עמק הירדן. ריכוזי חמצן בקרקע – חיישני חמצן מסוג 50-KE מוקמו בעומקים 20 ו-40 ס"מ בין שתי טפטפת ליד הגזע בכל טיפולי איכות המים (FW, 0.33WW, 0.66WW, WW). חיישנים אלה חוברו לאוגר נתונים ועקבו אחר השינוי בריכוזי החמצן בבית השורשים בתדירות של קריאה כל 3 שעות.

מדידות פיסולוגיות - השפעת טיפולי ההשקיה על פוטנציאל המים בגזע נבחנה במספר מועדים במהלך הניסוי. קטיפה - בתאריך 11 לנובמבר 2019 נקטפו עצי המדידה, בנוסף לקטיפה הפרטני של עצי המדידה, בוצע קטיפה משקי של כל העצים בחלקת הניסוי. בקטיפה המשקי נכללו גם עצים שנפגעו קשות מהקרה ועברו גיזום אינטנסיבי. יכול הפירות של כל טיפול עבר מיון בבית אריזה "מילופרי". היבול לחלקה חושב על פי: מספר ומשקל פירות X מספר עצים \ 41 עצים לדונם.

בדיקת כושר חידור – דוגמאות קרקע מופרות מהטיפולים השונים ומשלושת העומקים בכל טיפול הובאו למעבדה לבחינת כושר החידור באמצעות ניסוי חידור ממיני-דיסק אינפילטרומטר. בדיקת כושר החידור מספקת ביטוי כמותי להשפעה המצטברת של איכות המים על תכונות ההולכה של הקרקע. התאמת מודל חידור לתוצאות אלה מאפשרת הערכה של השפעת איכות מי השקיה על המוליכות ההידראולית ברוויה של הקרקע. ניתן גם לקבל אומדן של התכונות ההידראוליות של הקרקע בכל טיפול ובכל עומק ע"י הפעלת מודל זרימה בשיטת ה-אינוורס.

תוצאות

יבול 2020-21

שרב כבד וממושך בשבוע 21 (17-23 מאי מסומן בחץ, איור 1) שלווה בלחות נמוכה ובטמפרטורות קיצון הביא לנשירה גדולה של חנטיים\פירות ופגיעה קשה ביבול. הפגיעה הייתה סלקטיבית, ז.א., עצים שמועד החנטה העיקרי שלהם התרחש בשבוע בשרב נפגעו קשה יותר מעצים שחנטו מוקדם יותר ומסקנה זו נמצאת בהתאמה לתצפיות דומות בעצי מנגו מאזור צמח עמק הירדן. תצפיות של מערכת ההדרכה האזורית הצביעו כי עצים שהניבו יבול נמוך בשנה הקודמת חנטו מוקדם יותר ולכן נפגעו פחות מעצים שנשאו יבול גבוה בשנה הקודמת, חנטו מאוחר ולכן נפגעו קשה מאירוע שרב זה. בתאריך 13 לדצמבר 2020 נקטפו עצי המדידה, התוצאות מוצגות בטבלה 1.

טבלה 1. השפעת טיפולי ההשקיה על מספר ומשקל הפירות לעץ (בסוגריים – שגיאת התקן לכל טיפול) בשנת 2020.

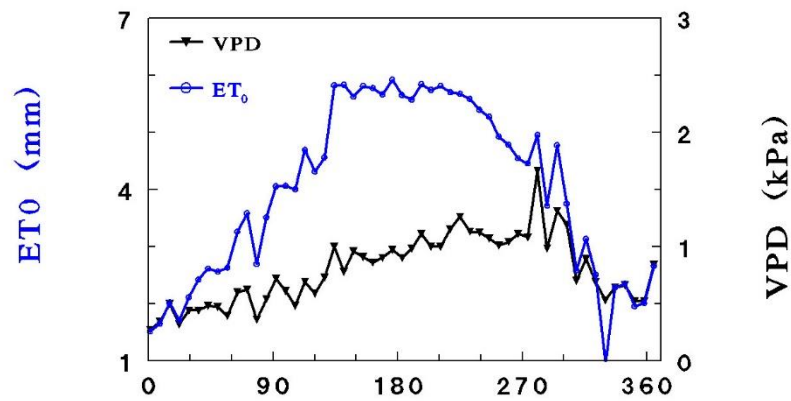
טיפול	פירות לעץ	משקל פירות (ק"ג)	פרי ממוצע (ג')	יבול מחושב לדונם (טון)
WW	bc120 (19.2)	bc26 (3.7)	a222 (6.1)	1.1
0.66WW	ab192 (18.8)	ab37 (4.1)	b192 (2.6)	1.5
0.33WW	a236 (14.9)	a44 (3.2)	b188 (3.9)	1.8
FW	c85 (22.3)	c18 (4.1)	a211 (4.1)	0.7
FW-Ak	bc139 (35.9)	abc29 (6.4)	a209 (6.4)	1.2
ממוצע 2020	155	31	176	1.3
F ¹ טיפולים	0.0003	170.00	<0/0001	
LSD _{0.05} ²	93.9	17.8	16.1	

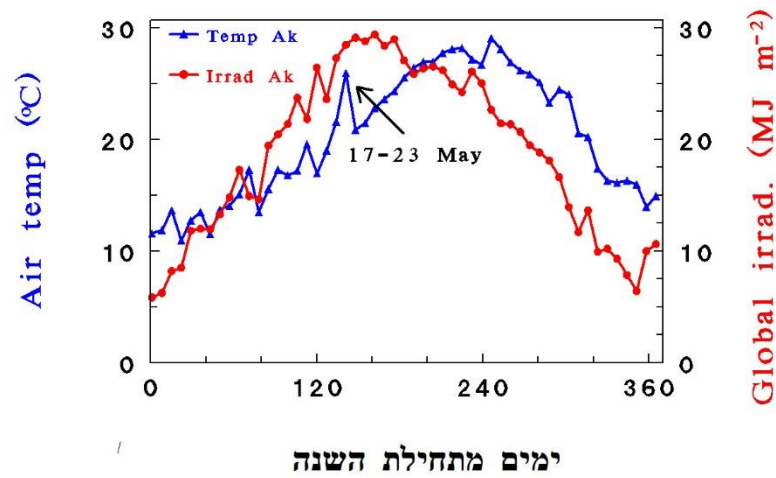
¹ – רמת מובהקות סטטיסטית: ² – ההבדל המובהק הקטן ביותר (Least significant difference).

היבול הממוצע לדונם לכל הטיפולים שנת 2020 היה 1.1 טון, נמוך בהרבה מיבול 2019 שהיה: קולחים: 308 פירות, 57 ק"ג; שני שלישי קולחים: 340 פירות, 61 ק"ג; שלישי קולחים: 282 פירות, 57 ק"ג; שפירים משקי: 333 פירות, 64 ק"ג; שפירים מיטבית: 307 פירות, 60 ק"ג. בנוסף לקטיף הפרטני של עצי המדידה, בוצע קטיף משקי של כל העצים בחלקת הניסוי. בקטיף המשקי נכללו גם עצים שנפגעו קשות מהקרה ועברו גיזום אינטנסיבי. יבול הפירות של כל טיפול עבר מיון בבית אריזה "מילופרי". יבול ממוצע לדונם של כלל היבול (כולל 10 עצי מדידה שנקטפו פרטנית) ואחוז פרי לייצוא היו:

קולחים:	1.2 טון, 88 אחוז ייצוא.
שני שלישי קולחים:	1.9 טון, 79 אחוז ייצוא.
שלישי קולחים:	2.0 טון, 85 אחוז ייצוא.
שפירים משקי:	0.9 טון, 87 אחוז ייצוא.
שפירים מיטבית:	1.2 טון, 80 אחוז ייצוא.

חשוב לציין שעצמת הפגיעה בעצים מהקרה לא הייתה זהה לכל הטיפולים וכי היבולים בשנים 2017 ו-2018 היו מזעריים ולכן, סביר להניח כי היבול בשנת 2020 הושפע משני תהליכים: (א) עצמת הפגיעה מהקרה (שנת 2017) והגיזום האינטנסיבי שבא בעקבותיה מחד; ו- (ב) השרב הכבד בחודש מאי מאידך.

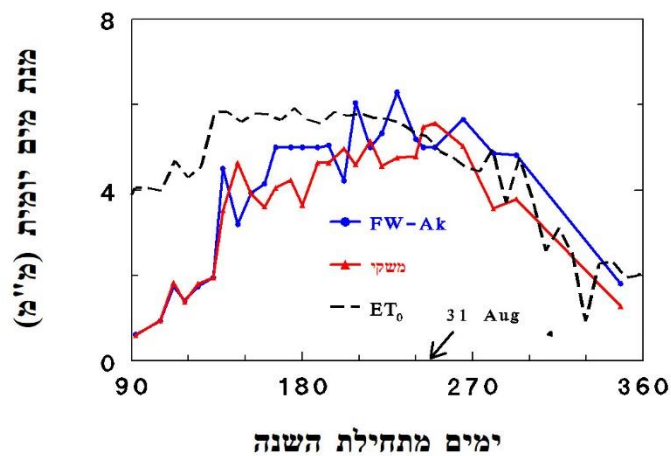




איור 1. נתונים אקלימיים (תחנת עכו, נתוני השירות המטאורולוגי) במהלך שנת 2020. עליון: דיות פוטנציאלי (משוואת Penman-Monteith) וגרעון מרבי בלחץ אדים (VPD); תחתון: טמפרטורת אויר ממוצעת וקרינה גלובלית.

מנות המים במהלך העונה ומצב המים בצמח

כמות המשקעים שירדה בחורף 2019-20 הייתה 767 מ"מ. מנת המים המשקית (טיפולים: FW, 033WW, 066WW – WW), בהשוואה למנת המים שנתנה לטיפול שפירים-עכו (FW-Ak) ולדיות הפוטנציאלי (ET_0) המחושב באמצעות משוואת Penman-Monteith, מוצגת באיור 2.

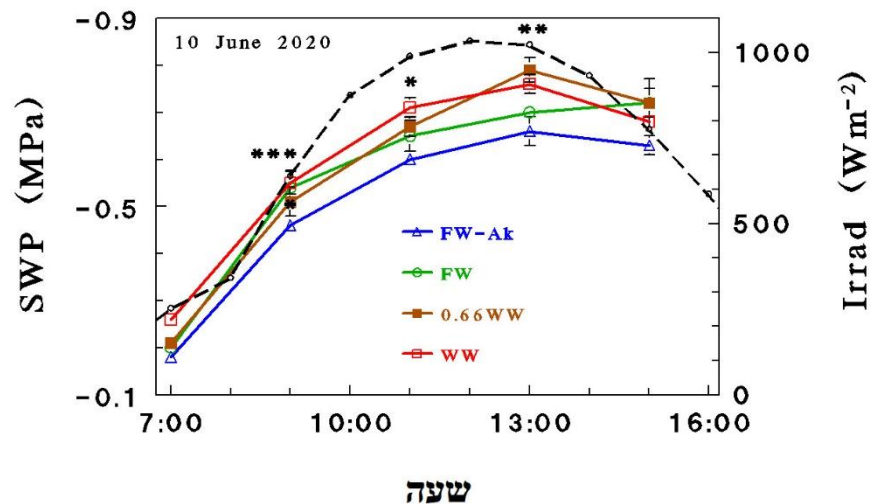


איור 2. מנת המים היומית המקובלת באזור (משקי) שיושמה בטיפולים: קולחים (WW), טיפולי המיהול (0.33.WW – 0.66.WW) ושפירים (FW), מנת המים בטיפול שפירים-עכו (FW-Ak) שנקבע לפי מדידות דיות של עצים בליזימטרים בחוות הניסיונות בעכו, בהשוואה לדיות הפוטנציאלי (ET_0 - משוואת Penman-Monteith).

מנת המים המרבית בניסוי נתנה באמצע הקיץ (סוף יולי עד אמצע אוגוסט, ימים 208-230) בעוד שרמת הקרינה הגבוהה ביותר הייתה ביום 23 ביוני (יום 175), הטמפרטורה המרבית בחודש אוגוסט (ימים 225-245) וההתאדות המרבית הייתה גבוהה יחסית בין אמצע מאי לסוף יולי (ימים 134-211). לאחר חורף גשום, מנות המים עלו במהירות מאמצע חודש מאי (יום 135), הגיעו לרמה הגבוהה ביותר באמצע חודש יולי 2020, וירדו בתחילת חודש ספטמבר 2020 (איור 2). ראו לציין כי מנות ההשקיה בטיפול שפירים מיטבי (FW-Ak) מיום 8 באוגוסט (יום 221) ושלושה שבועות מאוחר יותר גם בטיפולים המשקיים (31 אוגוסט הוא יום 244) היו גבוהים מהדיות הפוטנציאלי (ET₀, איור 2), בהתאמה לניסוי השקיה מיטבי בחוות עכו (Silber et al, 2019). חשוב לזכור כי הדיות הפוטנציאלי המחושב באמצעות משוואת Penman-Monteith מביא בחשבון רק את השפעת גורמי האקלים על פתיחת הפיוניות ועל הדיות של מערכת ווגטטיבית ואיננו לוקח בחשבון את השפעת עומס הפירות על פתיחת הפיוניות ועל משק המים בצמח. לפירות אבוקדו מכילים כמות רבה של חומצות שומן בעלות ערך אנרגטי גבוה מאוד בהשוואה למיני פירות אחרים והם מהווים מבלע חזק למוטמעים ולכן, משפיעים על פתיחת פיוניות ועל הדיות (Silber et al, 2013a).

פוטנציאל מים בגזע

מדידות של פוטנציאל המים בגזע (SWP – Stem Water Potential) מקובלות בדרך כלל ככלי מהימן לאפיון מצב המים של הצמח ואמצעי טוב ובדוק לבקרת השקיה (Naor, 2006). השפעת איכות מי ההשקיה על פוטנציאל המים של עצים במהלך יום מייצג ללא השקיה בראשית הקיץ (10 יוני 2020) בהשוואה לקרינה הגלובלית מוצג באיור 3.

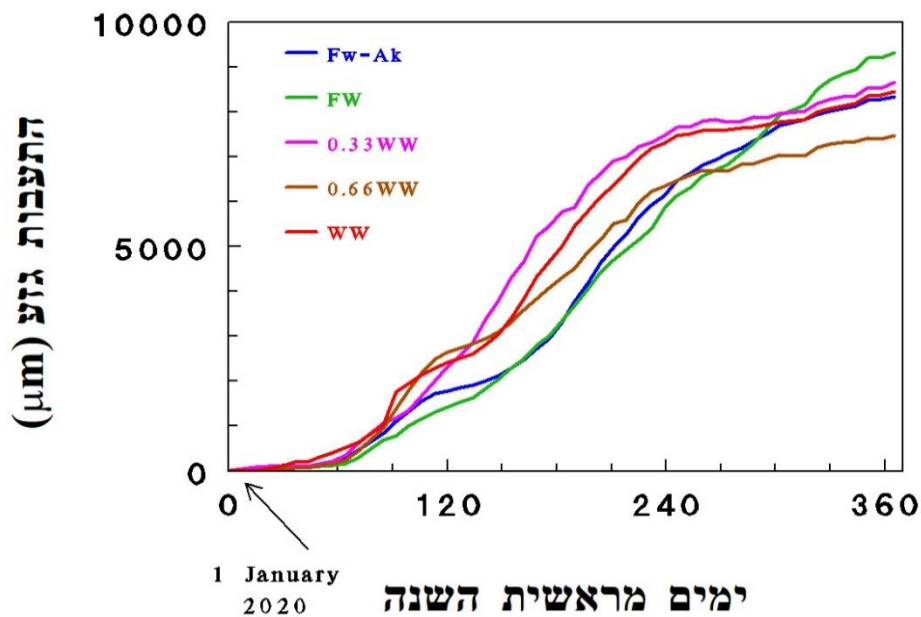


איור 3. השפעת טיפולי ההשקיה על פוטנציאל מים בגזע (SWP) במהלך יום ללא השקיה ביום 10 ביוני 2020 (יום 162) בהשוואה לקרינה הגלובלית (Irrad). קווים אנכיים מציינים את שגיאת הניסוי של כל טיפול. **, * - ו - ** מציינים רמת מובהקות (Prob>F) של 0.01 ו-0.001, בהתאמה. קווים אנכיים מציינים את ערכי שגיאת הניסוי.

טיפול שליש קולחים (0.33WW) הושקה ביום המדידה ולכן לא נכלל במדידות. מהלך הטמפרטורה הממוצעת וה-VPD באותו היום היו דומים למהלך הקרינה המוצג באיור 3. טמפרטורת האויר וה-VPD בשעה 06:00 של יום זה היו 19.8 מ"צ ו-0.36 kPa, בהתאמה והם עלו בהדרגה ל-26.4 מ"צ ול-1.6 kPa, בהתאמה עד השעה 12:00 וירדו לאחר מכן. פוטנציאל המים בגזע של עצים שהושקו במים שפירים (FW ו-FW-Ak), נמצא בהתאמה טובה לקרינה הגלובלית באותו יום, ז.א., ערכים נמוכים בשעות הבוקר, עלייה רצופה והגעה לשיא בין השעות 12:00 ל-13:00 וירידה לאחר מכן ("התאוששות", איור 3). השפעת איכות המים על ערכי ה-SWP בשעות 09:00, 11:00 ו-13:00 ביום זה הייתה מובהקת סטטיסטית ודומה לתוצאות שדווחו בשנים הקודמות.

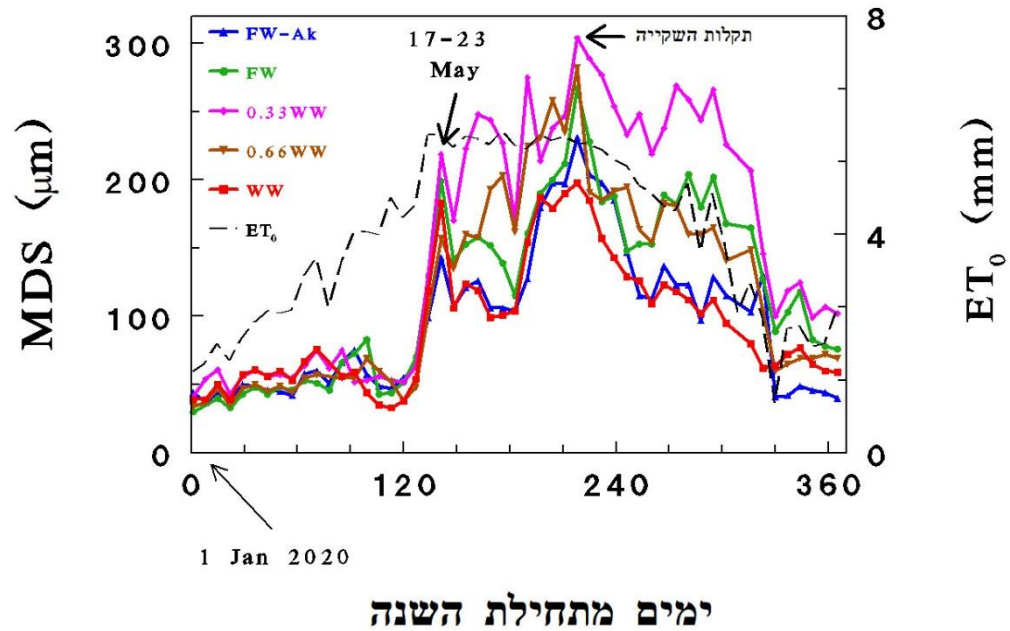
דנדרומטריה

קצב גידול (התעבות) הגזע (TGR – Trunk Growth Rate; מיקרו-מטר ליום) באבוקדו הוא תהליך מחזורי המושפע מיחסי מקור-מבלע בצמח. עלייה ב-TGR היא תוצאה של תנועת מוטמעים מהנוף לכיוון מערכת השורשים בעוד שירידה בקצב גידול הגזע נובעת מגלי לבלוב בחלק הראשון של העונה ולאחר מכן מעומס הפרי (Silber et al. 2013b). התפתחות מואצת של פירות מתחילת יוני ואילך גורמת לתנועת מוטמעים חזקה לכיוון הפירות ולכן התקופה של ינואר-ראשית יוני מוגדרת כ"חלון ההזדמנויות" לגידול מערכת השורשים (Silber et al., 2019). לאחר תקופה זו, כמות המוטמעים הנעה לכיוון מערכת השורשים קטנה מאוד ובעקבות זאת, גם גידול הגזע. גידול הגזע בשנה הקודמת היה בהתאמה טובה לתהליכים אלו השפעת איכות מי ההשקיה על התעבות הגזע הייתה (כצפוי) לפי הסדר: FW > WW >> 0.66WW > 0.33WW > Ak=FW. אולם, בעקבות השרב בכבד במאי 2020 והפגיעה החמורה בחנטים ונשירת פירות/חנטים שבאה לאחר מכן, ההשפעה של עומס הפירות על גידול הגזע הייתה שולית. התעבות נמרצת של הגזע נמשכה עד סוף חודש אוגוסט (31 אוגוסט הוא יום 244) ובנוסף, ההשפעה המובהקת של איכות מי ההשקיה על התעבות הגזע הייתה שולית (איור 5). ניתן לסכם עי התעבות הגזע המוצגת באיור 5 משקפת עץ ווגטיבי ולא עץ עם עומס פרי משמעותי.



איור 4. השפעת טיפולי ההשקיה על גידול הגזע במהלך שנת 2020.

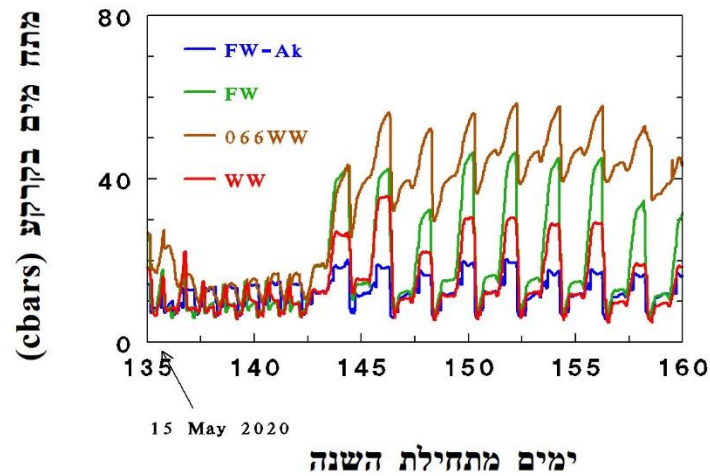
הכיווץ המרבי של הגזע (MDS – Maximum Daily Shrinkage) נמצא בדרך כלל ביחס ישיר לעצמה של עקת המים בצמח (Fernández & Cuevas, 2010), ולכן משמש ככלי חשוב בבקרת השקיה. בדומה לשנים קודמות, הכיווץ המרבי של כל העצים היה נמוך יחסית (פחות מ-100 מיקר-מטר) עד סוף אפריל (30 אפריל הוא יום 120 (איור 5) וכצפוי, הוא החל לעלות עם העלייה בדרישה למים כתוצאה מתהליכי הפריחה/חנטה. השרב הכבד בחודש יולי הביא לעלייה חדה מאוד בכיווץ המרבי (מסומן בחץ, איור 5) ולאחר מכן, הכיווץ המירבי הושפע בעיקר מתקלות במערכת ההשקיה (מסומן בחץ, איור 5). חשוב להדגיש כי הדנדורומטרים הגיבו בעלייה חזקה יום לאחר תחילת השרב וחזרו לרמתם הרגילה יום לאחר סיומו (איור 5). מכאן, אינפורמציה שהתקבלה מהדנדורומטרים הייתה צמודה לאירועים (שרב כבד), מדויקת, שקפה היטב את מצב העצים ויכולה להיות בסיס מהימן לשינויים נדרשים במשטר ההשקיה.



איור 5. השפעת טיפולי ההשקיה על הכיווץ המרבי של הגזע (MDS: maximum daily shrinkage) בהשוואה לדיות הפוטנציאלי (ET_0) במהלך שנת 2020 (ממוצעים שבועיים). חץ מציינ את השפעת השרב הכבד בימים 17-23 במאי על הכיווץ המרבי. חץ מציינ תקלות השקיה בחודש אוגוסט (ימים 210-240).

מתח מים בקרקע

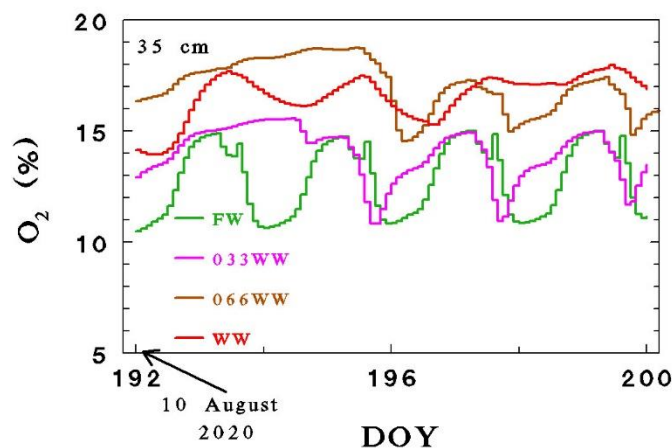
חורף גשום ופעילות נמוכה של העצים במהלך החורף הביאו למתחי מים נמוכים (נמדדו באמצעות טנסיומטרים שהוצבו מתחת לטפטפת ליד העץ בעומק של 20, 40 ו-60 ס"מ) המהלך החורף בכל הטיפולים. השרב הכבד בחודש מאי הביא לעלייה חדה במתח המים. השרב החל ביום 16 למאי (יום 137) ושישה ימים לאחר מכן (יום 143) מתח המים עלה לערכים של 40-60 סנטיבר ביום ללא השקיה (פרט לטיפול שפירים מיטבי) (איור 6). מתח המים בקרקע, במיוחד בטיפולים FW, 0.66WW, 1, 0.33WW – (אינו מוצג) היה גבוה יחסית מיום 143 (22 מאי) ונשאר גבוה עד סוף יוני. חשוב לציין כי תגובת הטנסיומטרים לשרב הכבד הייתה מאוד איטית (שישה ימים לאחר תחילתו, איור 5) והם נשארו גבוהים במהלך כל חודש יוני 2020 (אינו מוצג).



איור 6. השפעת טיפולי ההשקיה על מתח המים בקרקע (סנטיבר) בעומק 40 ס"מ מתחת לטפטפת ליד העץ במהלך השרב הכבד בחודש מאי 2020.

ריכוז חמצן בחללי הקרקע

בשנים הקודמות חיישני החמצן מוקמו 5 ס"מ בניצב לטפטפת. אולם, בעקבות תקלות טכניות שונה מיקום החיישנים בשנים 2019-20 והם מוקמו בין שתי טפטפות ליד הגזע. מכאן, חיישני החמצן בשנים 2019-20 היו במרחק גדול יותר מהטפטפת בהשוואה לשנים קודמות. השפעת טיפולי ההשקיה על ריכוזי חמצן בחללי הקרקע מוצגת באיור 7. כללית, ריכוזי החמצן משקפים מציאות הפוכה לקריאות הטנסיומטרים המוצגים באיור 6, ז.א., ירידה בריכוזי החמצן בזמן ההשקיה (עצמת הירידה תלויה בכמות המים) ועלייה עם סיומה. בנוסף, המשרעת של ריכוזי החמצן עולה כתלות בטיפולי איכות המים לפי הסדר: $Fw > 0.33WW = 0.66WW > WW$.



איור 7. השפעת איכות מי ההשקיה על ריכוזי חמצן בחללי הקרקע בעומק של 35 ס"מ בין שתי טפטפות ליד העץ.

מרכיבי מליחות בקרקע

מרכיבי מליחות בעומקים שונים של קרקע הניסוי מוצגים בטבלה 2. חשוב לציין שאיכות מי הקולחים ירדה בהדרגה מחודשי החורף עד הסתיו (ראה בפרק שיטות) ולכן התוצאות המוצגות בטבלה 2 משקפות מצב דינמי שהשתנה במהלך השנה עם השינויים באיכות מי ההשקיה.

טבלה 2. ערכי pH, מוליכות חשמלית של תמיסת הקרקע ($\text{EC} - \text{dS m}^{-1}$), ריכוזים (מ"ג לליטר בעיסה רוויה) של אמון, חנקן, זרחן, אשלגן, נתרן, כלוריד ושל דו-קרבונט (מא"ק לליטר) ומנת ספיחת הנתרן (אחוז מהקק"ח, ESP) בעומק 0-20, 20-40 ו- 40-60 ס"מ מתחת לטפטפות סמוך לעץ בתאריך 10 ספטמבר 2019.

	pH	EC	NH ₄	NO ₃	P	K	Na	Cl	HCO ₃	ESP
0-20 cm										
FW	7.50	0.67	13	10	0.16	8	43	103	3.7	1.4
0.33WW	7.65	1.00	13	13	0.47	16	94	171	4.3	1.9
0.66WW	6.90	1.43	16	22	0.34	19	96	170	5.1	4.1
WW	7.50	1.51	19	27	0.43	23	147	290	6.1	4.4
Prob>F	***	*	n.d.	*	n.d.	**	**	*	***	***
20-40 cm										
FW	7.60	0.62	13	4	0.03	8	39	40	3.2	1.4
0.33WW	7.60	1.02	11	6	0.03	18	157	96	4.7	3.4
0.55WW	7.93	1.04	16	8	0.20	24	155	93	5.4	3.8
WW	7.40	1.07	13	17	0.24	21	146	114	5.6	5.0
Prob>F	***	***	n.d.	***	*	***	**	**	**	***
40-60 cm										
FW	7.75	0.81	12	3	0.03	8	49	145	3.1	1.5
0.33WW	7.63	1.13	9	7	0.02	15	82	152	3.5	4.3
0.55WW	7.48	1.15	11	7	0.09	17	112	161	4.0	5.0
WW	7.63	1.38	10	24	0.02	21	143	170	5.5	4.2
Prob>F	*	*	n.d.	*	n.d.	**	*	*	*	***
Depth										
Prob>F	*	n.d.	**	*	*	n.d.	n.d.	n.d.	*	n.d.

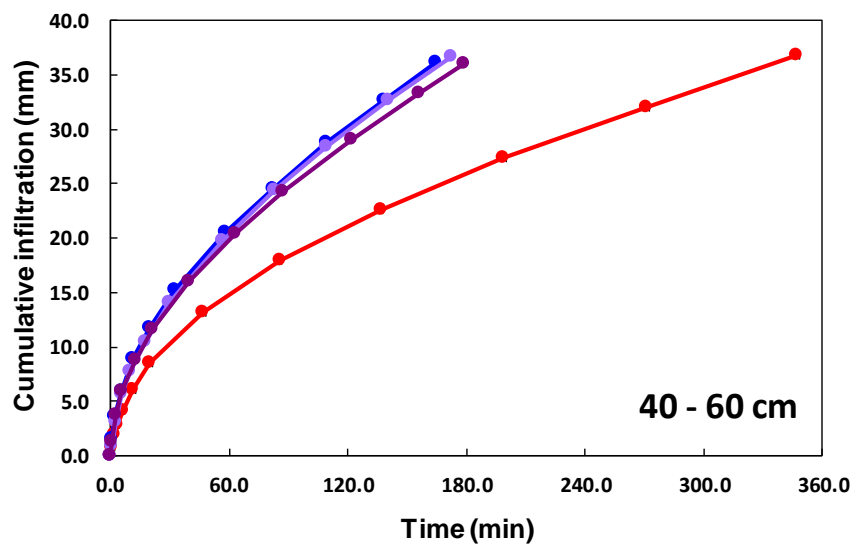
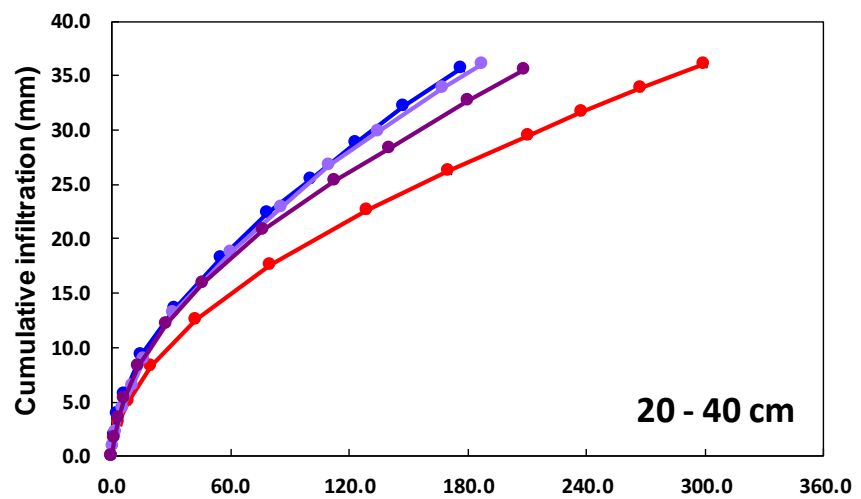
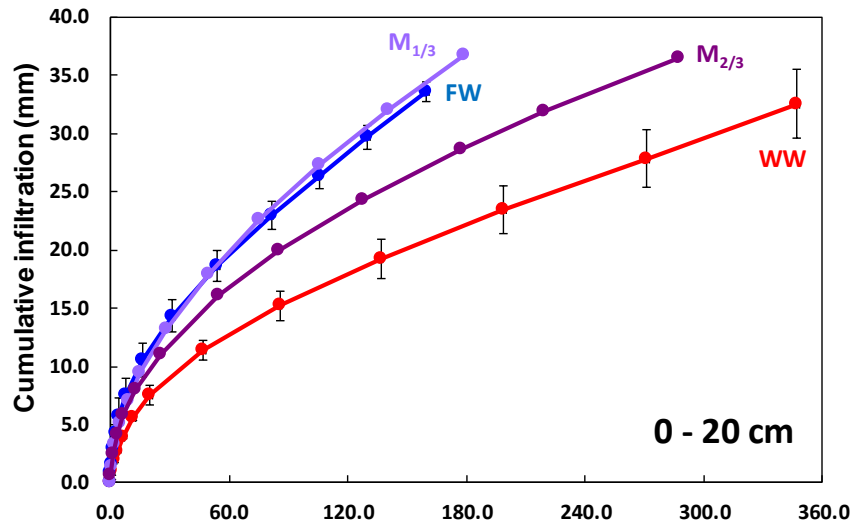
Prob>P – מובהקות סטטיסטית; *, *, * – מובהק סטטיסטית ברמה של: <math>0.05 < P < 0.001</math> ו- <math>0.0001 < P < 0.001</math>; n.d. – לא מובהק.

השפעת איכות מי ההשקיה על מרכיבי המליחות בקרקע כגון EC, נתרן, כלוריד, בי-קרבונט ו- ESP הייתה ברורה ומובהקת סטטיסטית. בנוסף להשפעה של מרכיבי המליחות, גם ריכוזי חנקן, זרחן (מובהק סטטיסטית רק בעומק 20-40 ס"מ), ואשלגן עלו בעקבות ריכוזים גבוהים במי הקולחים בהשוואה לריכוזים במים השפירים. מגמה דומה נמדדה גם עבור ריכוזי סידן ומגנזיום (אינו מוצג). השפעת עומק שכבת הקרקע היתה מובהקת עבור ה-pH, ועבור ריכוזים של אמון, חנקן, זרחן ובי-קרבונט שירדו עם העומק (טבלה 2).

מידול והדמיה.

כפי שזה הוצג בחלק השיטות, נערכו ניסויי חידור על דוגמאות קרקע מופרות משלושה עומקים (20, 40 ו-60 ס"מ) בכל הטיפולים.

תוצאות עקומי החידור מוצגות בתרשים:

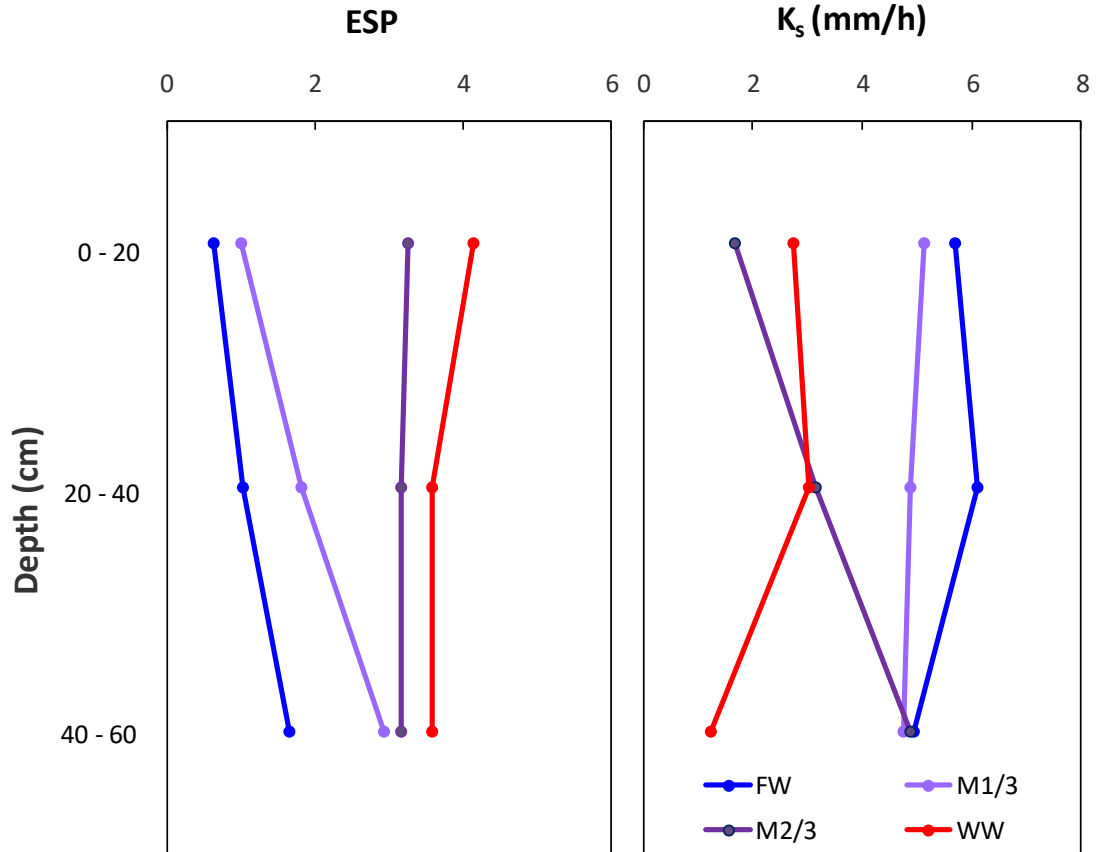


המודל האנליטי של Brutsaert (1977) הותאם לעקומים האלה :

$$F(t) = tK_s + \frac{S^2}{\beta K_s} \left\{ 1 - \left[1 + \beta \left(\frac{t^{1/2} K_s}{S} \right) \right]^{-1} \right\}$$

התאמה זו איפרה להעריך את המולכות ההידראולית ברוויה K_s של הקרקע בכל עומק ולכל טיפול מיהול.

התוצאות מוצגות בתרשים יחד עם תוצאות ה-ESP לכל עומק ולכל טיפול:



על בסיס עקומי החידור המדודים וערכי K_s המחושבים, ניתן היה להפעיל את הפתרון הנומרי של משוואת Richards לזרימה של מים בקרקע בשיטת ה-Inverse:

$$\frac{\partial \theta(\psi)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\psi) \left[\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right] \right\} - S(\psi, z, t)$$

הדבר הזה מתאפשר למשל בעזרת HYDRUS המספק דרך לפתור נומרית את משוואת הזרימה.

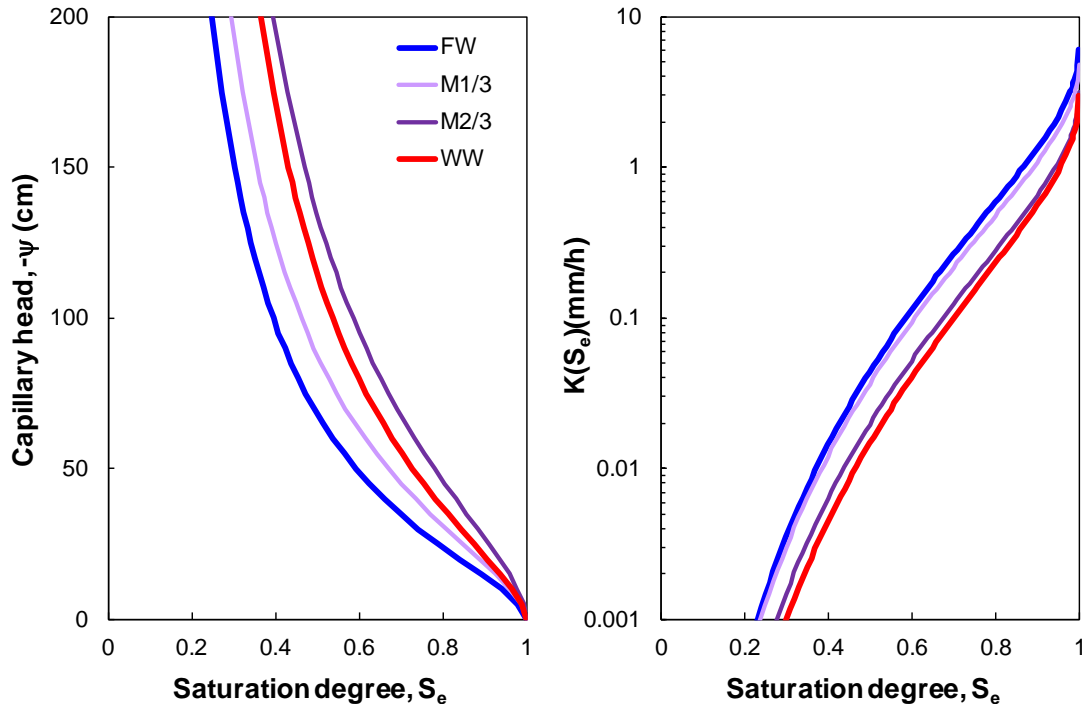
בדרך זו ניתן להגדיר את התכונות ההידראוליות, קרי עקום התאחיזה ועקום המוליכות ההידראולית של הקרקע בכל עומק ולכל טיפול. תכונות אלה תוארו במונחים של משוואת Van Genuchten לעקום התאחיזה:

$$S_e(\psi) = \frac{\theta(\psi) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(\frac{1}{[1 + (\alpha |\psi|)^n]^{(1-1/n)}} \right)$$

ומודל Mualem לפונקציית המוליכות ההידראולית:

$$K(S_e) = K_s S_e^{0.5} \left[\frac{\int_0^{S_e} \frac{ds}{\psi}}{\int_0^1 \frac{ds}{\psi}} \right]^2$$

התוצאות מוצגות בתרשים:



כעת, יש בדינו אפיון כמותי של השפעת איכות מי ההשקיה על התכונות ההידראוליות של הקרקע אחרי כמה עונות של חשיפה רציפה לאיכות זו.

מתקבל שבהתאם לאיכות המים מתפתחת קרקע שונה. ניתן לנצל תכונות אלה בשביל להתאים א ממשק ההשקיה הרצוי לכל קרקע בהתאם לתכונותיה ובכך למזער את ההבדל הנובע מהשפעת איכות המים.

תרגיל כזה בוצע ע"י פתרון נומרי דו-מימדי של משוואת הזרימה כהדמיה למצב השקיה בטפטוף, שוב ע"י הפעלת

HYDRUS.

לכל קרקע הוזנו התכונות ההידראוליות הספציפיות שלה.

נבחנו כמה ממשקי השקיה הבוחנים ספיקת טפטפת שונה ומספר שלוחות שונות, כל זאת בהשואה לממשק השקיה שנקבע בפועל במהלך הניסוי: השקיה כל יומיים; 2 שלוחות לעץ; טפטפת של 1.6 ל"שעה.

נבחנו המעבר ל השקיה יומית; השימוש בטפטפת בספיקה גבוהה יותר או נמוכה יותר; מעבר ל-4 שלוחות לעץ.

המשתנה אשר שימש לבחינת ביצועי ממשק ההשקיה הוא הדיות של העץ (קליטת המים בבית השורשים). משתנה זה

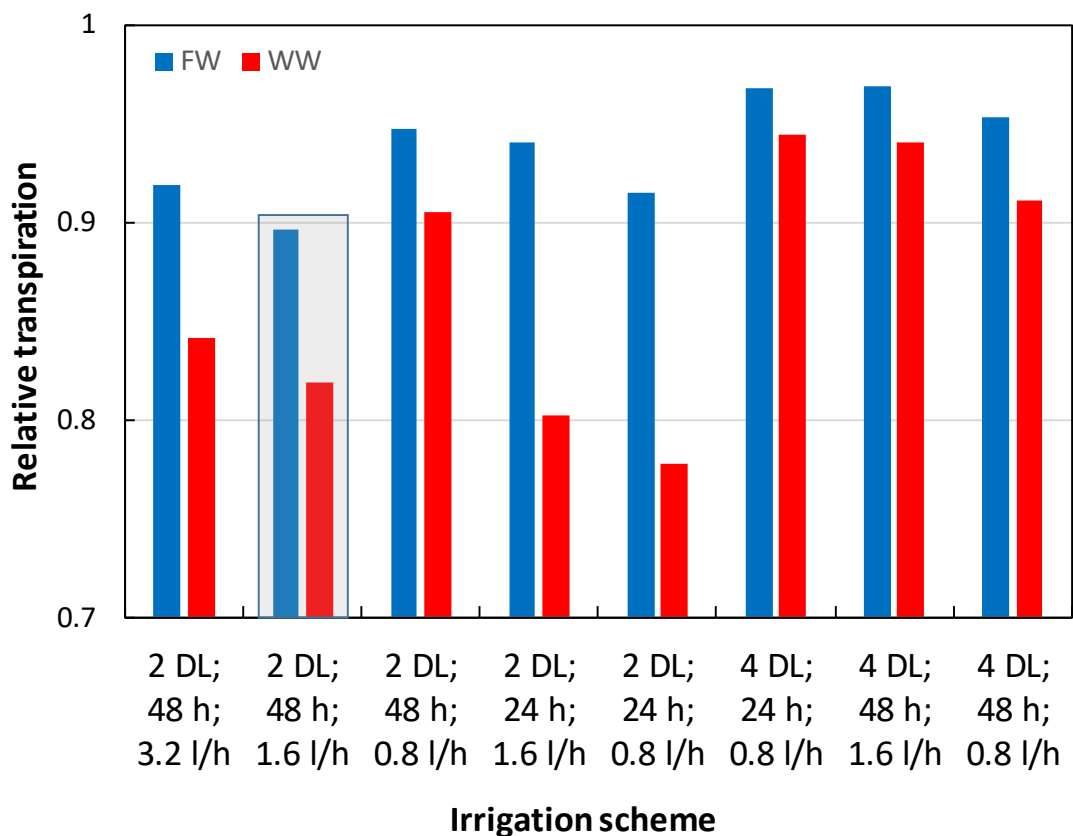
נמצא בהתאמה עם היכול. לא נלקחה בחשבון בהדמיה זו השפעת מליחות מי ההשקיה על הקליטה (נושא זה נבחן בעבודה

אחרת) והתוצאות מראות את השפעת תכונות הקרקע בלבד על הקליטה, כפי שאלו נקבעות ע"י איכות מי ההשקיה.

ההדמיה בוצעה רק עבור השימוש במים שפירים ובמי קולחים כשני הגבולות של איכות מי ההשקיה ששימשה בניסוי.

התוצאות מוצגות בתרשים:

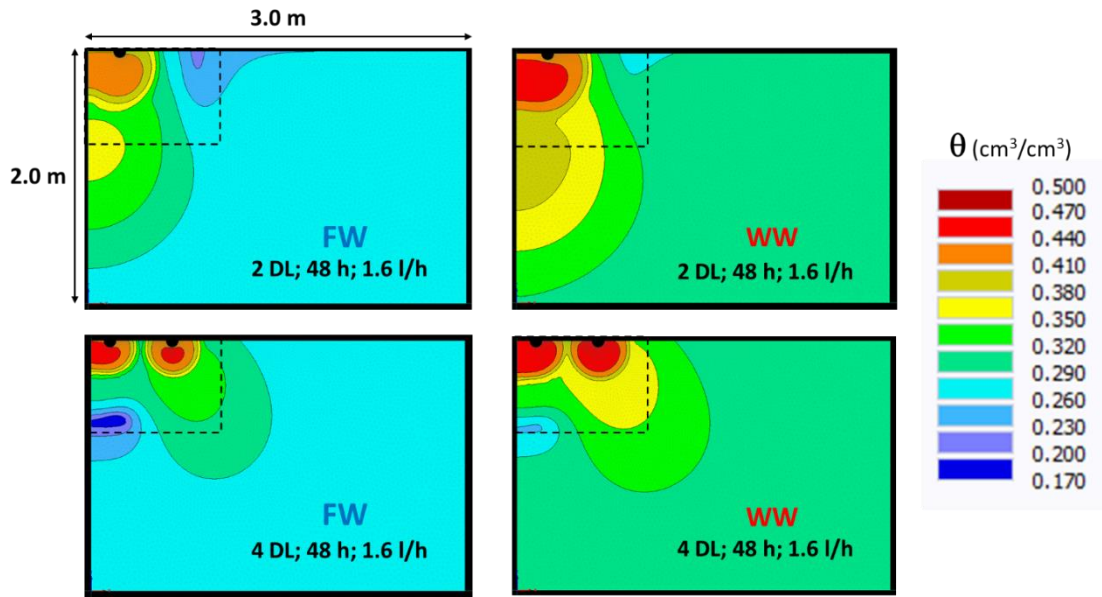
Irrigation scheme	Description
1. 2 DL; 48 h; 3.2 l/h	2 drip lines per row; irrigation every 48 h; 3.2 l/h dripper discharge
2. 2 DL; 48 h; 1.6 l/h (Ref.)	2 drip lines per row; irrigation every 48 h; 1.6 l/h dripper discharge
3. 2 DL; 48 h; 0.8 l/h	2 drip lines per row; irrigation every 48 h; 0.8 l/h dripper discharge
4. 2 DL; 24 h; 1.6 l/h	2 drip lines per row; irrigation every 24 h; 1.6 l/h dripper discharge
5. 2 DL; 24 h; 0.8 l/h	2 drip lines per row; irrigation every 24 h; 0.8 l/h dripper discharge
6. 4 DL; 24 h; 0.8 l/h	4 drip lines per row; irrigation every 24 h; 0.8 l/h dripper discharge
7. 4 DL; 48 h; 1.6 l/h	4 drip lines per row; irrigation every 48 h; 1.6 l/h dripper discharge
8. 4 DL; 48 h; 0.8 l/h	4 drip lines per row; irrigation every 48 h; 0.8 l/h dripper discharge



מפתח ההדמיות מובא בטבלה:

מתקבל שהקטנת הספיקה והגדלת מספר השלוחות מגדילות את ביצועי ההשקיה ומצמצמות את הפער הנובע מהבדלים בתכונות הקרקע הנובעות מהשקיה במים שפירים ובמי קולחים.

המחשה של פיזור תכולת הרטיבות בקרקע מסביב לשלוחות הטיפטוף במצב של 2 שלוחות ו-4 שלוחות במקרה של שימוש במים שפירים ומי קולחים מוצג בתרשים:



- Assouline, S. and K. Narkis. 2011. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the hydraulic properties of a clayey soil. *Water Resour. Res.*, 47, W08530, doi:10.1029/2011WR010498.
- Assouline, S. and K. Narkis. 2013. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the root zone environment. *Vadose Zone J.*, 12: 1-10, doi:10.2136/vzj2012.0216.
- Assouline, S., K. Narkis, R. Gherabli and G. Sposito. 2016. Combined effect of sodicity and organic matter on soil properties under long-term irrigation with treated wastewater. *Vadose Zone J.*, doi: 10.2136/vzj2015.12.0158
- Paudel, I., Shaviv, A., Bernstein, N., Heuer, B., Shapira, O., Lukyanov, V., Bar-Tal, A., Rotbart, N., Ephrath, J., Cohen, S. 2016a. Lower leaf gas-exchange and higher photorespiration of treated wastewater irrigated Citrus trees is modulated by soil type and climate. *Physiol. Plant.* 156, 478–496.
- Paudel, I., Cohen, S., Shaviv, A., Bar Tal, A., Bernstein, N., Heuer, B., Ephrath, J. 2016b. Impact of treated wastewater on growth, respiration, and hydraulic conductivity of citrus root systems in light and heavy soils. *Tree Physiol.* 36,770–785.
- Paudel, I., Bar-Tal, A., Rotbart, N., Ephrath, J., Cohen, S. 2018a. Water quality changes seasonal variations in root respiration, xylemCO₂, and sap pH in citrus orchards. *Agric. Wat Manage.* 197, 147-157.
- Paudel, I., Bar-Tal, A., Levy, G.J., Rotbart, N., Ephrath, J., Cohen, S. 2018b. Treated wastewater irrigation: Soil variables and grapefruit tree performance. *Agric. Wat Manage.* 204. 126-137.
- Fernández, J.E., Cuevas, M.V., 2010. Irrigation scheduling from stem diameter variations: a review. *Agric. Water Manage.* 150, 135–151.
- Naor, A., 2006. Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Horti. Rev.* 32, 111–165.
- Silber A, Israeli Y, Levi M, Keinan A, Chudi G, Golan A, Noy M, Levkovitch I, Narkis K, Naor A, Assouline S. 2013a. The roles of fruit sink in the regulation of gas exchange and water uptake: a case study for avocado. *Agric. Water Manage.* 116: 21–28.
- Silber, A., Naor, A., Israeli, Y., Assouline, S. 2013b. Combined effect of irrigation regime and fruit load on the patterns of trunk-diameter variation of 'Hass' avocado at different phenological periods. *Agric. Water Manag.*, 129, 87-94.
- Silber, A., Naor, A., Cohen, H., Bar-Noy, Y., Yechieli, N., Levi, M., Noy, M., Peres, M., Duari, D., Narkis, K., Assouline. 2019. Irrigation of 'Hass' avocado: Effects of constant vs. temporary water stress. *Irrig. Sci.* 37, 451-460.