

## עבודת גמר בחקלאות

האם קיים מתאם בין פוטנציאל המים בצמח, הנמדד באמצעות מד לחץ, לבין טמפרטורת העלה, הנמדדת באמצעות מצלמה תרמית, בשתילי אבוקדו בחממה?



### מגיש:

נטע ברעם, ביי"ס מבואות עירון

ת.ז: 325100279

דואר אלקטרוני: [netaba@mevoot-eron.com](mailto:netaba@mevoot-eron.com)

טלפון: 0546886033

כתובת: פרדס חנה כרכור, המושב 76/2

בית הספר: מבואות עירון

מנחים: ד"ר איתמר נדב, נועם גבע

טלפון מנחה: 0523750979

מייל מנחה: [gevanoam@gmail.com](mailto:gevanoam@gmail.com)

המחקר נעשה בליווי וייעוץ של אודי גפני

החווה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר-מנשה

שנת לימודים: 2020, תש"פ

## תוכן העניינים

|            |                        |
|------------|------------------------|
| 3.....     | הקדמה                  |
| 4-5.....   | תקציר                  |
| 6-14.....  | 1. מבוא וסקירת ספרות   |
| 15.....    | 2. שיטות וחומרים       |
| 17.....    | 3. תיאור המחקר         |
| 17.....    | 1.3 ניסוי ראשון        |
| 19.....    | 2.3 ניסוי שני          |
| 19.....    | 3.3 תיאור שיטות המדידה |
| 23-25..... | 4. ממצאים              |
| 26-28..... | 5. דיון ומסקנות        |
| 29.....    | תודות                  |
| 30-31..... | רשימת ספרות            |

### איורים, תמונות, גרפים

|         |  |
|---------|--|
| 8.....  | איור מס' 1 : <u>מקורות המים של ישראל (במלמ"ק ובאחוזים) נכון ל-2016</u> |
| 9.....  | איור מס' 2 : <u>השימושים במים (במלמ"ק ובאחוזים) בישראל נכון ל-2016</u> |
| 11..... | איור מס' 3 : <u>פוטנציאל מים בצמח</u>                                  |
| 12..... | איור מס' 4 : <u>תא לחץ</u>   |
| 13..... | איור מס' 5 : <u>גרף השוואה בין LWP ל-CWSI</u>                          |
| 14..... | איור מס' 6 : <u>תצלום תרמי של שדה תפוחי אדמה</u>                       |
| 17..... | איור מס' 7 : <u>איור מערך הניסוי הראשון</u>                            |
| 19..... | איור מס' 8 : <u>איור מערך הניסוי השני</u>                              |

- 22.....איור מס' 9 : טבלת מדידת הניסוי
- 23.....גרף מס' 1 : הניסוי הראשון : מתאם בין טמפרטורת העלה לפוטנציאל המים בגזע, בכלל הטיפולים
- 24.....גרף מס' 2 : ניסוי שני : מתאם בין טמפרטורת העלה לפוטנציאל המים בגזע, בכלל הטיפולים
- 25.....גרף מס' 3 : ניסוי שני : מתאם בין ממוצעי פוטנציאל המים בגזע (SWP) מול ממוצעי ה-CWSI

## הקדמה

התחלתי להתעניין בחקלאות מדייקת עוד כשהשתתפתי בתכנית "חקלאות העתיד" בחממה בכיתה י', מטעם בית הספר מבואות עירון. כשבאתי לבחור את הנושא של עבודת הגמר בכיתה יא', בחרתי להעמיק בתחום של חקלאות מדייקת ולבצע סביבו את המחקר. תהליך בחירת הנושא כלל התייעצות עם מומחים מחברות שונות: החממה מקיימת שיתוף פעולה עם חברת "אבוקדו גרנות", המובילה בישראל בתחום האבוקדו, ועם חברת "נטפים", אחת החברות המובילות בעולם בהשקיה. כחלק משיתוף הפעולה, אנו מחפשים, תלמידים ומורים מהחממה, יחד עם מומחים מהחברות, אתגרים שיכולים לעניין גם התעשייה וגם אותנו. בתחילת התהליך, נפגשתי עם מומחים מאבוקדו גרנות, ועם מומחים ממו"פ חברת נטפים בקיבוץ "מגל", יחד עם מורים מצוות החממה. בפגישות, עלו כל מיני רעיונות לפרויקטים. אני הכי התחברתי לרעיון של הצילום התרמי. רעיון זה שילב את תחום החקלאות, תחום שלא היה לי ידע רב בו, ותחום הטכנולוגיה, תחום שאני מאוד אוהב ללמוד עוד ממנו. שילוב שני התחומים האלו מאוד סיקרן אותי, והוא למעשה הבסיס לתחום "חקלאות מדייקת".

לאורך העבודה למדתי איך חקלאות יכולה להשתלב עם טכנולוגיה, שילוב מאוד מעניין שאני מאמין שהשפעתו על עתידנו רבה. בעבודה, עסקתי בנושא של בעיית מים, והשתמשתי בטכנולוגיה כדי לראות אם ניתן לשפר ולייעל את השימוש בטכנולוגיה כיום כדי לפתור את בעיית המים. זאת עשיתי בהנחייתו של ד"ר איתמר נדב, שעזר לי להרחיב רבות את הידע שלי בעולם החקלאות. בנוסף לכך נועם גבע עזר לי לכתוב את העבודה, וליווה אותי בתהליך העבודה מתחילתה במפגש עם המומחים של נטפים ועד סיומה ליום הגשתה. העבודה תרמה לי וממנה למדתי כיצד לעבוד עם מומחים, כיצד לכתוב עבודה, כיצד לעבוד עם עצי אבוקדו ולהקים מערכות השקיה וכיצד לנתח תוצאות וליצור גרפים.

## תחום: חקלאות

נושא: חקלאות מדייקת- צילום תרמי של צמחים במצבי עקה

מטרת המחקר: לפתח שיטה לזיהוי עקת מים בצמח האבוקדו (בשל חוסר במים) באמצעות צילום תרמי, על מנת להחליף שיטות פחות יעילות בהן משתמשים היום.

## תקציר

ענף החקלאות הינו צרכן המים הגדול ביותר במשק המים בישראל, בהיקף של כ – 55% מהמשק. ענף האבוקדו בישראל משגשג, מייצר כ-90,000 עד 100,000 טון אבוקדו בשנה, אך עץ האבוקדו צורך הרבה מים, כ-1,000-1,300 מילימטרים מים לעונה. נכון להיום, ישנם חקלאים המשקים את מטעי האבוקדו השקיית חסר או השקיית יתר, בשני המקרים נוצרת פגיעה בעצים וביבולים, ובהשקיית יתר גם בזבוז יקר של מים. בנוסף, כאשר מערכת מים נפגעת ולא מטופלת בזמן, היבול יכול גם כן להיפגע.

דרך מקובלת כיום לדעת אם הצמח מקבל את כמות המים הנכונה, הינה מדידת פוטנציאל מים בצמח, הנעשית באמצעות תא לחץ באופן ידני. אמצעי מדידה זה אמנם מהימן אך יש לו מספר חסרונות בולטים: הוא מסורבל, יש לו עלויות גבוהות בעיקר של כוח אדם, היכולת לכסות באמצעותו היקף עצים גדול במטע מוגבלת מאוד והשימוש בו כרוך בפגיעה בנוף העץ. אמצעי חלופי, התופס תאוצה בשנים האחרונות, הינו שימוש במצלמה תרמית לזיהוי מצב המים בצמח. המצלמה התרמית יכולה לכסות שטח גדול בהרבה, השימוש בה פשוט וקל יותר, ואינו דורש פגיעה בנוף העץ. חשוב לציין, כי עלות המצלמה אינה מהווה יתרון על פני מד הלחץ, אך בפרמטרים האחרים שצינתי, יש לה יתרונות על פני תא הלחץ. הבעיה המרכזית המגבילה את תפוצת השימוש במצלמה תרמית לזיהוי עקת מים בצמח, הנה אמינות הנתונים. נכון להיום, נוטים המגדלים שלא לסמוך על הצילום התרמי, או לכל היותר להשתמש בו כאינדיקטור נוסף, והם ממשיכים להשתמש בתא הלחץ, על אף חסרונותיו.

מחקרים קודמים הוכיחו שקיים קשר חלש בין טמפרטורת העלווה, הנמדדת באמצעות מצלמה תרמית, לבין פוטנציאל המים בצמח, הנמדד באמצעות תא לחץ, אך מחקרים אלו ספורים והקשר שנצפה אינו חזק מספיק על מנת לשכנע את החקלאים לנסות לעבור לשימוש בצילום תרמי. בשנים האחרונות התפתחה הטכנולוגיה של צילום תרמי באופן משמעותי. על בסיס התפתחות זו, ביקשתי לבדוק, יחד עם מו"פ חברת "נטפים" וחברת "אבוקדו גרנות" את היכולת לחזק את האמינות של שימוש במצלמה תרמית לטובת מדידה של מצב המים באבוקדו. צמח האבוקדו נבחר להיות צמח הניסוי מתוך שיתוף פעולה של החממה האקולוגית בעין שמר עם חברת "אבוקדו גרנות" וחברת "נטפים". יחד, העלינו אפשרויות לביצוע מחקרים ועבודות גמר, המבוססות על אתגרים אמיתיים הקיימים כיום בענף האבוקדו. מתוך האפשרויות שעלו, בחרתי באפשרות של התמודדות עם מדידת עקת מים באבוקדו, בגלל שאבוקדו הוא הינו פרי שכיום משגשג בארץ ובחו"ל. בנוסף אני אוהב טכנולוגיה לכן שילבתי את האתגר החקלאי עם אתגר טכנולוגי - השוואת אמצעי המדידה.

במחקר זה, חקרתי על הקשר בין פוטנציאל המים בצמח, כפי שהוא בא לידי ביטוי באמצעי המדידה תא לחץ, לבין טמפרטורת העלווה בעצי אבוקדו, כפי שהיא באה לידי ביטוי בשימוש במצלמה תרמית. מטרתי הייתה למצוא מתאם גבוה בין הערכים של תא הלחץ לערכים של המצלמה התרמית, אשר יעיד על קשר חזק בין פוטנציאל המים בצמח לבין טמפרטורת העלווה. את המחקר ביצעתי בחממה בעין שמר בעזרת 24 שתילי אבוקדו המחולקים לשלוש קבוצות טיפול שונות, כל קבוצה בעלת משטר השקיה שונה. במהלך המחקר, ביצעתי שני ניסויים: הניסוי הראשון, בחודשים ינואר-פברואר, שימש כניסוי פיילוט, באמצעותו למדתי את שיטות המדידה וזיהיתי גורמים החשובים לביצוע הניסוי. את הניסוי השני והמרכזי במחקר, ביצעתי במהלך החודשים החמים (אוגוסט-נובמבר).

ממצאי המחקר מראים כי ישנו קשר בין טמפרטורת העלווה לבין פוטנציאל המים בגזע. ניתן לראות זאת בממצאים על ידי קבוצות הטיפול השונות, כאשר בטיפולים בהם עקת המים חמורה יותר – טמפרטורת העלה גבוהה יותר ופוטנציאל המים בגזע גבוה יתר. לעומת זאת, כאשר עקת המים פחות חמורה פוטנציאל המים נמוך יותר וכך גם טמפרטורת העלה.

על בסיס ממצאים אלו, חילצתי משוואה המתארת את הקשר בין פוטנציאל המים בצמח לבין טמפרטורת העלווה, בעלת מתאם של 0.603 לפי מקדם מתאם של  $R^2$ . על פי הממצאים, ניתן לומר כי התקיים קשר בינוני בין ערכי המדידה של תא לחץ לבין ערכי המדידה של המצלמה התרמית, כלומר שבתנאים בהם בוצע הניסוי, יש פוטנציאל להחלפת המדידה בתא לחץ למדידה באמצעות מצלמה תרמית.

יישום של מסקנות המחקר יכול לסייע לחקלאים, על בסיס היתרונות של השימוש במצלמה תרמית על פני שימוש בתא לחץ: משך זמן נמוך יותר, עלויות כוח אדם נמוכות יותר בהתאם, כיסוי רחב יותר של עצים במדידה אחת, ואין צורך לפגוע בעלוות העץ.

בניסוי המשך, אני ממליץ לבצע עוד מדידות לאורך המחקר על מנת לדייק את תוצאות המחקר. כמו כן אני ממליץ על לבצע את המחקר בעונות שונות, לא רק בעונות החמות, כדי לראות את ההשפעה על הצמחים, פוטנציאל המים, וטמפרטורת העלווה, ולנתח את ההשפעות של העונות השונות. בנוסף אני ממליץ לבצע את המחקר גם על צמחים נוספים.

## 1. רקע מדעי וסקירת ספרות

### אבוקדו – נתונים כלליים

האבוקדו הוא עץ סובטרופי ממשפחת העריים (Lauraceae). מוצאו ממקסיקו ומרכז אמריקה (אתר משרד החקלאות). סביבת הגידול הטבעית של האבוקדו הינה באזורים לחים, סובטרופים וטרופים. קיימים שלושה טיפוסים של אבוקדו, השונים זה מזה לפי מוצאם: מקסיקני, גוואטמאלי ומערב-הודי, והם נבדלים מאוד בתכונותיהם (אתר מועצת הצמחים). באבוקדו ישנם כ-15 זנים שונים.

רוב האבוקדו מגודל במקסיקו (כ-28% מכלל הייצור העולמי). כמו כן מגדלים אבוקדו במדינות כגון צ'ילה, הרפובליקה הדומיניקנית, אינדונזיה, קולומביה, פרו, ארה"ב וישראל.

פרי האבוקדו שימש בתזונה של תושבים קדומים באמריקה הלטינית, ועד היום הוא נפוץ שם כעצי-בר, או כזרעים בחצרות הבתים. רק בתחילת המאה ה-20 החלו לנטוע אבוקדו כמטע מסחרי של עצים מורכבים. חברת פיק"א ניסתה בתחילת המאה ה-20 לאקלם את האבוקדו בארץ, אולם רק בשנות ה-60 החל הגידול המסחרי של האבוקדו בישראל (ויקיפדיה, ערך אבוקדו).

עץ האבוקדו פורח באביב באשכולות מרובים מאוד. ההאבקה נעשית בייחוד על-ידי דבורים. תהליך יצירת הפרי באבוקדו מחייב האבקה של פרח האבוקדו עם אבקה שמקורה בפרח אחר, לרוב מזן אבוקדו אחר האבקה צולבת, (אתר אבוקדו גרנות). הפרי גדל בעיקר בחודשי הקיץ, ומבשיל, לפי הזנים, מסוף ספטמבר עד סוף מאי. הפרי מוכן לקטיף כששיעור השמן מגיע בו ל-9% או יותר. שיעור השמן גדל כל עוד הפרי לא נקטף. הפרי מוכן לאכילה רק לאחר שהתרכך. (מועצת הצמחים)

הערך התזונתי של אבוקדו רב. באבוקדו קטן (150 גרם): 240 קלוריות, 22 גרם שומן, 10 גרם סיבים, ויטמין B, ויטמין E, ויטמין K, חומצה פולית ואשלגן. כמחצית משומני האבוקדו הם בלתי רוויים. באבוקדו יש חומצה אולאית וגם פיטוסטרולים (אתר כללית).

### שוק האבוקדו בישראל

שוק האבוקדו בישראל משגשג וצומח משנה לשנה. בישראל כ-74,000 דונם אבוקדו, מתוכם כ-65,000 דונם מניבים, המייצרים כ-90,000 עד 100,000 טון אבוקדו בשנה. הזנים העיקריים הם האס ואטינגר, כאשר האס הוא הזן המבוקש ביותר בקרב רשתות השיווק ברוב מדינות אירופה (לנה כץ, 2015). עלות נטיעת מטע אבוקדו של כ-100 דונם היא כמיליון ש"ח. רווח של חקלאי לדונם הוא בממוצע כ-1500 ₪ (לפני מס).

ישראל היא אחת היצואניות העיקריות של אבוקדו לאירופה. כ-85% מהיבול המקומי מיועד ליצוא ונשלח לשווקים באירופה, ומהווה כ-13% מכלל היצוא ליבשת (50,000 טון). עיקר הייצוא מופנה לאירופה, לצרפת (35%) (הולנד (24%), בריטניה (17%) ורוסיה (9%). ההכנסה למגדל אבוקדו מקומי המייצא את פירותיו היא כ-2.6 ש"ח לקילו (הוכברג ושותפיו, 2015) (אתר מועצת הצמחים).

## התנאים הנדרשים לגידול אבוקדו

גידול אבוקדו מצריך רצף פעולות ארוכות שנים, מורכבות ומקצועיות המחייבות הבנה וידע, סבלנות וזיקה לאדמה ולצומח גם יחד. מיום ההחלטה על נטיעה ועד להגעת עץ האבוקדו לבגרות יעברו 8-9 שנים. שלושת תנאי הסף הראשוניים בקבלת החלטה לנטיעת אבוקדו הינם: אקלים, קרקע ומים.

**אקלים:** עץ האבוקדו דורש טמפרטורות נוחות (לא גבוהות מדי ולא נמוכות מדי). טמפרטורה נמוכה מאפס מעלות תפגע בעץ בצורה מהותית ולעיתים ידרשו עד 3 שנים להתאוששות, שנים בהן העץ ינסה לשקם את עצמו מהפגיעה. בתקופה זאת העץ לא ייתן פרי. טמפרטורה של 0-4 מעלות לא תפגע בעץ, אולם היא עלולה לפגוע באיכות הפרי.

**השקיה:** עץ האבוקדו זקוק לכמות מים גבוהה ביחס לגידולים אחרים (אתר אבוקדו גרנות, סיפור האבוקדו הישראלי). מטע בוגר בישראל דורש השקיה בהיקף של 800-850 קוב לדונם לשנה (בממוצע כ-2.3 קוב מים לדונם ליום). מטע צעיר מושקה בממוצע 150 קוב לדונם לשנה, ועם הזמן כמות המים עולה. כמובן שממשק ההשקיה משתנה בהתאם לעונה ולמזג האוויר. שיטת ההשקיה הנפוצה בארץ הינה בטפטוף, אך עדיין קיימים מטעים המושקים בהמטרה. (מקור: שיחה עם חן שוורץ, מנהל מטע אבוקדו עין שמר). לגידול מרבי, האבוקדו צריך בין 1-1.3 ליטר מים ליום.

**קרקע:** הקרקע המיטבית לגידול עץ האבוקדו הינה אדמה קלה ומאווררת, בעלת אחוז חרסית נמוך ואבניות גבוהה ורמת גיר שאינה עולה על 20%.

## משבר המים בישראל והשלכותיו על החקלאות:

בשל שינויי האקלים, צפויות טמפרטורות כדור הארץ לעלות באופן ניכר ברחבי העולם במהלך המאה הנוכחית. באגן הים התיכון הטמפרטורות הממוצעות צפויות לעלות ב- $1.1^{\circ}\text{C}$ - $2.2^{\circ}\text{C}$  עד סוף המאה, בנוסף לכך צפויה ירידה בכמויות הגשמים ברמה של 27%-4. (גולן-אנגלקו עירית, ובראור ישעיהו 2008).

ברוב שטחה של ישראל שורר אקלים צחיח או צחיח למחצה, והיא מתמודדת כבר שנים רבות עם משבר מים, הנוצר משילוב של מיעוט משקעים והידלדלות מקורות מים טבעיים. בין השנים 1877-2001 בוצעו מדידות בכפר גלעדי, על מנת לזהות שנות בצורת מתמשכות. הממצאים מראים מקרי בצורת מובהקים בשנים הבאות: 1887-1890, 1932-1934, 1957-1962, 1989-1991, 1999-2001. ניתן לראות, כי שנות בצורת שכיחות בישראל, וחסרות עקביות (רן ניר 2007). בצורת עלולה לגרום למדבור, הדלדלות מאגרי מים, פגיעה באיכות מאגרי המים, המלחת קרקעות ונזקים לחקלאות.

החקלאות בישראל רגישה במיוחד לשינויי האקלים. ההשפעות האפשריות של שינויי האקלים הצפויים על החקלאות כוללות: שינוי בכמויות המשקעים, שינוי מגמות הטמפרטורות, שינויים אקולוגיים ועלייה בריכוז  $\text{CO}_2$ . כמו כן הירידה בכמות המשקעים תוביל לירידה בחידור של מים לקרקע ולירידה בזמינות המים בקרקע ליבולי קיץ וחורף. (גולן-אנגלקו עירית, ובראור ישעיהו 2008)



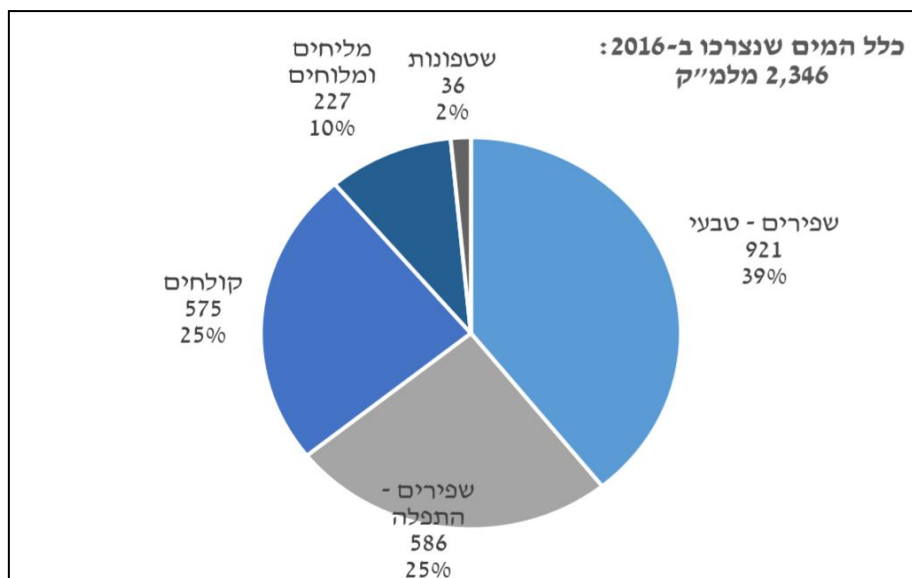
בעקבות הירידה במשקעים, ייתכן כי עונת הגשמים תתקצר, ולכן יהיה צורך בהשקיה מוקדמת של יבולי קיץ ובהשקיה מרובה מזו הנהוגה היום. כיוון שהדרישה למים תעלה עם הירידה הצפויה בכמויות המשקעים, החקלאות צפויה לספוג קיצוצים דרמטיים בשנים הקרובות ממקורות המים הטבעיים. (גולן-אנגלקו עירית, ובראור ישעיהו 2008)

### מקורות מים בישראל:

בישראל בשנת 2016 היה היקף השימוש במים כ-2,346 מיליון מטר מעוקב (מלמ"ק). ישנם שני סוגים של מקורות מים: מים מלאכותיים ומים טבעיים. מקורות המים הטבעיים העיקריים של ישראל הינם אגן הכנרת (שבתוכו נכלל גם מאגרי מי התהום והנחלים המתנקזים לימת הכנרת), אקוויפר החוף ואקוויפר ההר. מכלל צריכת המים בישראל כ-40% מקורם במקורות טבעיים. בנוסף למקורות הטבעיים, ישנם מקורות מים מלאכותיים המהווים תפקיד חשוב במשק המים בישראל. המקורות המלאכותיים הם מים מותפלים (בעיקר מי ים) המספקים כ-25% מצריכת המים ב-2016 ומי קולחין, מושבים שרובם עוברים טיהור במתקני טיהור שפכים, ובמרביתם נעשה שימוש חוזר לחקלאות. מי השפכים מספקים כ-20% מכלל שימוש המים נכון ל-2016. (משק המים בישראל – סוגיות מרכזיות, מרכז המחקר והמידע, הכנסת, 2016).

במועצה האזורית מנשה, בה נמצאת החממה, ישנו מתקן טיהור שפכים אשר מספק 5 מיליון קוב מים בשנה. זאת כדי לספק ל-10,000 דונם של חקלאות, בין היתר אבוקדו (מירית מזרחי, 2010).

#### איור מס' 1: מקורות המים של ישראל (במלמ"ק ובאחוזים) נכון ל-2016



שימוש במקורות המים בשנת 2016 בישראל, כמות במלמ"ק ואחוז מכלל המקורות (משק המים בישראל – סוגיות מרכזיות, מרכז המחקר והמידע, הכנסת, 2016)

## שימושי המים המרכזיים בישראל:

בישראל מספר שימושים עיקריים במים:

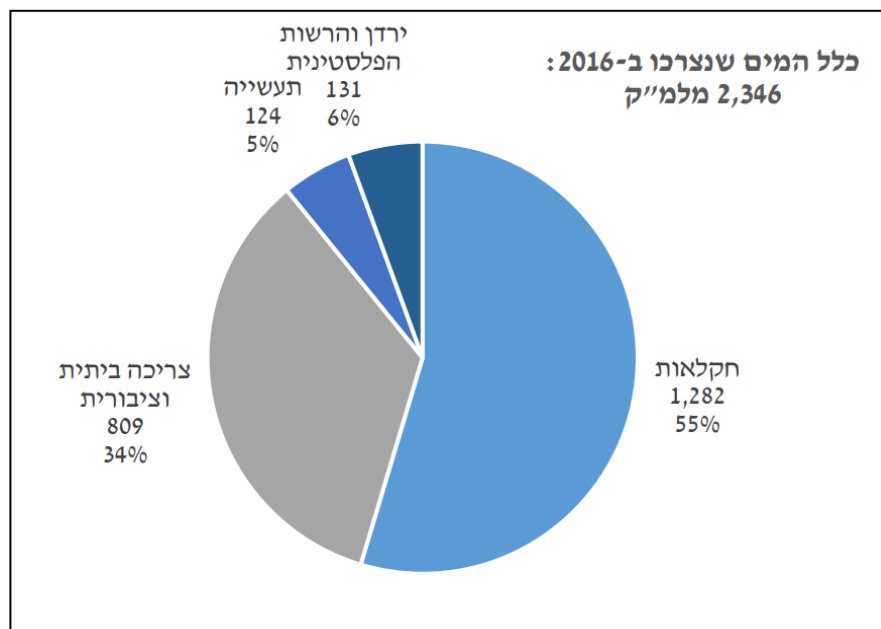
**צריכת המים בחקלאות:** החקלאות בישראל צורכת כ-55% מכלל המים. כ-60% ממשק המים שהחקלאות צורכת הינם מים לא שפירים, וכמעט כשלושה רבעים מהמים הלא שפירים הם מי קולחין (מי שפכים מטוהרים), והשאר מים מליחים ומי שיטפונות (אגר עדו, 2016).

**צריכת המים לשימוש ביתי:** צריכת המים הביתית והציבורית עומדת על כ-34% ממשק המים, משנת 1993 ועד לשנת 2016 נרשמה עליה של כ-43% בצריכת המים (כ-1.7% לשנה). (אגר עדו, 2016).

**צריכת המים בתעשייה:** צריכת המים בתעשייה מהווה כ-5% ממשק המים, והיא עלתה בכ-5% משנת 1993 ועד 2016 (עליה של כ-0.3% לשנה). (אגר עדו, 2016).

בנוסף, בהמשך להסכמי השלום עם ירדן, ירדן והרשות הפלסטינית מקבלות מישראל מים בהיקף של כ-6% ממשק המים בישראל.

### איור מס' 2: השימושים במים (במלמ"ק ובאחוזים) בישראל נכון ל-2016



צריכת המים הכללית בישראל בשנת 2016 לפי מטרות הצריכה, הכמויות במלמ"ק ובאחוז מכלל הצריכה. (משק המים בישראל – סוגיות מרכזיות, מרכז המחקר והמידע, הכנסת, 2016)

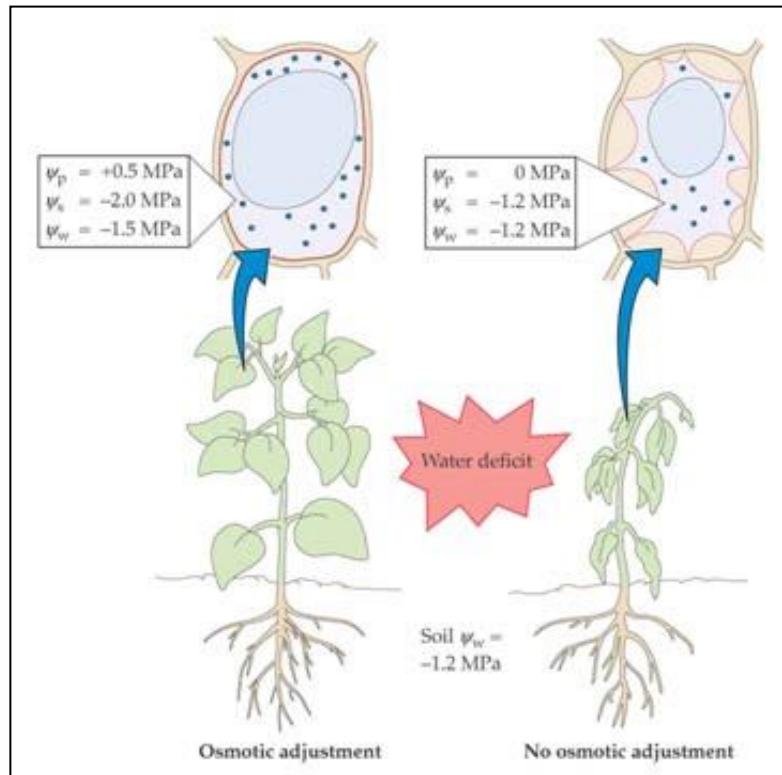
## שימוש במים באבוקדו

כאמור לעיל, עצי האבוקדו צורכים מים רבים: מטע אבוקדו בוגר צורך 2.3 קוב לדונם במוצע (850-800 קוב לדונם בשנה). נכון לכתיבת עבודה זו, אין דרך אפקטיבית למדוד את כמות המים שכל צמח צורך, ואין דרך לדעת האם יש השקיית יתר או אולי מחסור במים בצמח, מחסור המתגלה מאוחר מדי באמצעים הקיימים, ומביא לפגיעה בצמח וביבול. במסגרת מחקר זה, ברצוני לחקור אמצעי טכנולוגי-חקלאי שעשוי לסייע בחסכון במים במשק האבוקדו. אמצעי זה הינו צילום תרמי. השערתי היא, כי באמצעות צילום תרמי, ניתן יהיה להבין מה מצב פוטנציאל המים בצמח באופן יעיל, ובהתאם ניתן יהיה לשפר את קבלת ההחלטות באשר לצורך להשקות. בנוסף לאפשרות לחסוך במים באמצעות צילום תרמי, השערתי היא כי ניתן יהיה להשתמש במצלמה התרמית על מנת לזהות מצבי עקה בצמח, ובאופן זה, ניתן יהיה למנוע נזקים בצמח.

## פוטנציאל המים בצמח

פוטנציאל המים הוא מדד המבטא את יכולת מעבר מולקולות המים ממקום למקום במרחב. המים יעברו מפוטנציאל מים גבוה לפוטנציאל מים נמוך. בעצים, המים יעברו מהאדמה דרך יונקות השורש, לשורשים, לצינורות העצה, לעלים, ומהעלים יעברו דרך הפיוניות תהליך של דיות. כל שלב במעבר הכרחי שיהיה בו שינוי מפוטנציאל מים גבוה לנמוך. הרכיבים המשפיעים על פוטנציאל המים מורכבים מפוטנציאל הגובה, פוטנציאל הלחץ ומריכוז המומסים בתא. כמו כן פועלים כוחות קוהזיה (כוחות משיכה פיזיקאליים בין מולקולות המים) המאפשרים את משיכת 'שרשרת' המים - כאשר מולקולות מתאדות מתאי המזופיל בעלה, אלו מושכות אחריהן את המולקולות הבאות שימאחוריהן בצמח. פוטנציאל המים בגזע מושפע מכניסת המים מן היונקות בשורשים וגם מיציאת המים מן הפיוניות. לכן, כאשר הצמח נמצא בעקת מים, פוטנציאל המים באדמה יהיה נמוך ולכן גם פוטנציאל המים בצינורות העצה יהיה יותר נמוך מכיוון שליונקות לא יהיה מאיפה לשאוב מים. ככל שפוטנציאל המים באדמה יהיה גבוה יותר ניתן להסיק שפוטנציאל המים בצינורות העצה יהיה גבוה יותר מכיוון שליונקות יש מאיפה לשאוב מים. (מערכות ותהליכים - באדם ובעלי חיים ובצמחים, האוניברסיטה העברית בירושלים, 2006).

### איור מס' 3 : פוטנציאל מים בצמח



עקת יובש בצמחים, אוחזר מתוך אתר: פיזיולוגיה של הצמח.

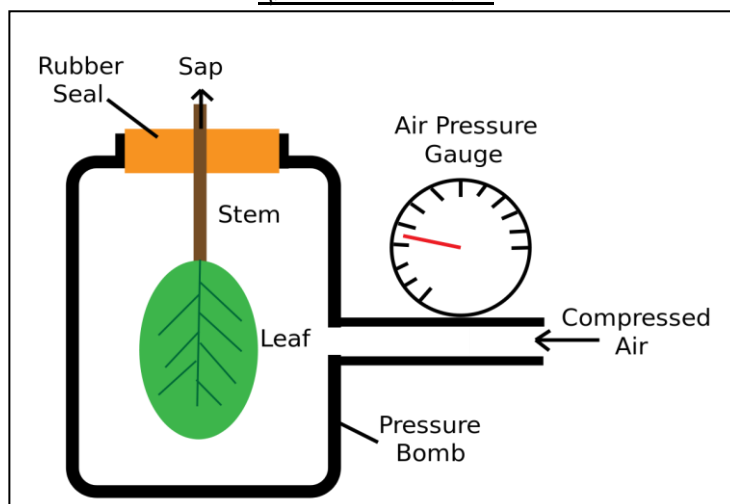
### אמצעים קיימים למדידת פוטנציאל מים בצמח:

ישנם מספר אמצעים למדידת פוטנציאל המים בצמח:

#### תא לחץ

מדידת "LWP" (Leaf Water Pressure) או "SWP" (Stem Water Pressure) נעשית על ידי תא לחץ. בתא לחץ, נמדדת כמות המים המאוחזרת מן הגבעול כאשר מופעל לחץ על העלה מגז נייטרלי (אינרטי). ככל שיש פחות מים חופשיים בצמח, ככה צריך להפעיל יותר לחץ. התוצאות מן המדידה יוצאות במד לחץ ביחידות של בר (מד ואקום) (Prof A. Deloire & D. Heyns, 2011). המדידה הינה הרסנית מכיוון שבכל פעם שצריך לבצע את המדידה דרוש לקטוף עלה מהעץ. בנוסף, המדידה מאוד מצומצמת מכיוון שהיא יכולה למדוד רק עלים בודדים. יתר על כן, יש לבצע את המדידה בשעות החמות ביום, כדי שתא הלחץ יאחזר תוצאות מהימנות של פוטנציאל המים בצמח בשעות הפעילות המקסימליות של הצמח שהן צהריי היום.

## איור מס' 4 : תא לחץ

מקור: ויקיפדיה, ערך *Scholander pressure bomb***צילום תרמי**

צילום תרמי מאפשר למדוד את טמפרטורת העלווה של העץ. כאשר העץ נמצא בעקת מים ואינו מאדה מים טמפרטורת העלווה יכולה לעלות בהשוואה לעץ המושקה במים ואינו סובל מעקת מים.

על פי אלחנתי ועמיתיו (2003) ידוע כיום שיש קשר בין פוטנציאל המים בצמח לבין טמפרטורת העלווה במצב בו הצמח נמצא ב-Crop Water Stress Index (CWSI) הקשר שהוצג על ידי אידסו וחובריו (Idso et al (1981). הקשר המתאר את מצב הצמח יחסית למצבים קיצוניים (צמח ללא הגבלת מים וצמח בעקה מוחלטת) הקשר מוצג על ידי הנוסחה הזו:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_{base})}{(T_{mx} - T_{base})}$$

$T_c$  - טמפי העלווה

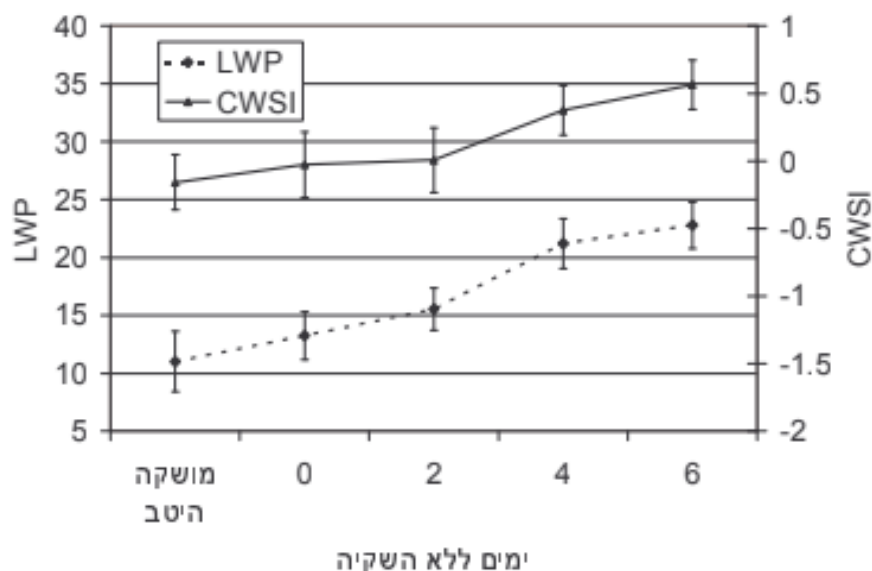
$T_{mx}$  - טמפי העלווה המכסימלית, המבטאת מצב של עקה מוחלטת

$T_{base}$  - טמפי עלווה מינימלית המבטאת עלה ללא עקת מים כלל

מנוסחה זו ניתן להבין את הקשר הקיים בין CWSI לבין טמפרטורת העלה.

במחקר אשר ביצעו אלחנתי ועמיתיו (2003) ערכו החוקרים ניסוי, ומצאו שיש קשר בין הטמפי של העלה, המבוטאת באינדקס (CWSI) לבין פוטנציאל המים בעלה (LWP), וזה מתבטא כך:

### איור מס' 5: גרף השוואה בין LWP ל-CWSI



מיפוי פוטנציאל מים באמצעות צילומים תרמיים להכוונת השקיה, גיאודזיה, מיפוי מידע גיאוגרפי 2003

מכך ניתן להבין שיש קשר בין פוטנציאל המים בעלה לטמפרטורת העלה. ממצא זה חשוב למחקר אותו אבצע, שכן צילום תרמי מודד טמפ' בעלה, ועל פי הנתונים במחקר של אלחנתי ועמיתיו, יש בסיס לשער שיהיה ניתן למצוא מתאם בין הערכים של הצילום התרמי לבין עקת המים בעלה. אך במחקרם הם אינם מציגים את המשוואה אשר מתארת את המתאם בין הטמפרטורה לבין פוטנציאל המים.

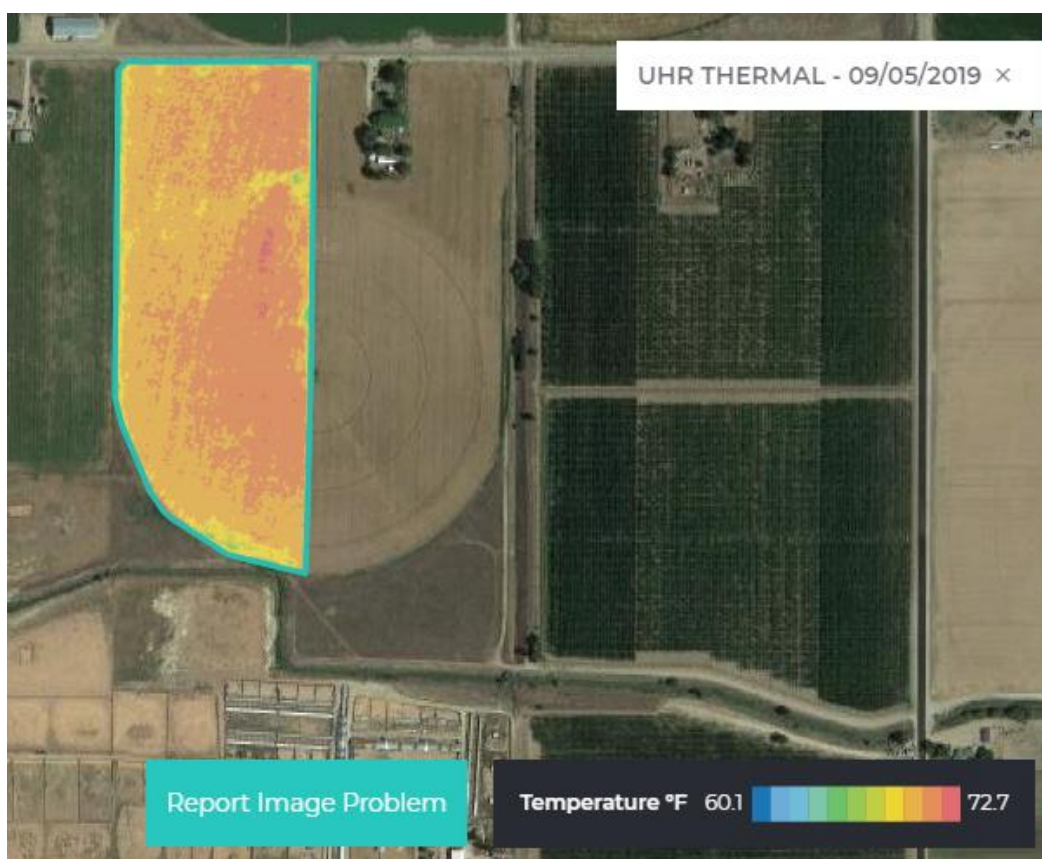
### חשיבות המחקר מבחינה כלכלית ותועלת

מדידת פוטנציאל מים על ידי תא לחץ הנה המדידה הכי מהימנה כיום בשוק, אך כאמור יש לה מספר חסרונות בולטים, וביניהם שהיא אורכת כמה וכמה שעות, דורשת כוח אדם מקצועי ומיומן בעלויות גבוהות וגורם לפגיעה בנוף הצמח. עלות מדידה אחת בתא לחץ הינה בסביבות 80 ש"ח. יתרה מכך, בגלל טווח השעות המצומצם ביום שניתן לבצע את המדידה, מודד מיומן יכול למדוד כ- 60 עלים בממוצע. כתוצאה מכך מספר המדידות שכל חקלאי מבצע בעונה תלויה בכמות הכסף אשר אותו מוכן להשקיע בשביל המדידות, ובנוסף אין אפשרות לכסות מטע שלם ביום אחד. כתוצאה ממגבלות השימוש בתא לחץ, נוצרים מצבים רבים של השקיית יתר או השקיית חסר (מקור: שיחות עם המנחים ועם חקלאים מגדלי אבוקדו). הנוק הכלכלי של השקיית יתר, ובמיוחד של השקיית חסר, גדול מאוד עקב הפגיעה בפרי ובעץ.

אמנם, יתכן כי שימוש במצלמה תרמית הינו בעל עלויות ישירות לא פחותות מאלו של תא הלחץ, עקב ההשקעה הראשונית ברכישת מצלמה. מצלמה תרמית סבירה מתחילה כיום באלפי שקלים וישנן מצלמות שיכולות להגיע למאות אלפי שקלים, כאשר המחיר תלוי במידת הדיוק של המצלמה, הרזולוציה, העדשה שבה

נעשה שימוש והאם היא מקוררת (במצלמה שאינה מקוררת טמפרטורת החיישן עלולה להשתנות במהלך המדידה כי טמפרטורת האוויר משפיע על המצלמה). למרות זאת, היתרונות הבולטים בשימוש במצלמה תרמית הינם: א. יכולת הכיסוי הגבוהה שלה, ולכן המהירות בא ניתן לבצע את הבדיקה (חסכון בשעות עבודה יקרות, שהינו לאורך זמן פקטור כלכלי משמעותי מאוד). ב. העדר פגיעה בנוף העצים. ג. רמת דיוק הולכת ומשתכללת.

איור מס' 6: תצלום תרמי של שדה תפוחי אדמה



מדידה של חברת נטפים בשדה תפוח אדמה (2019).

בתצלום זה מוצגת מדידה שבוצעה על שדה תפוחי אדמה. ניתן לראות שלמצלמה תרמית יש כושר כיסוי גדול מאוד במדידה אחת, לעומת תא לחץ שיכול לכסות כ-60 עלים ביום.

## 2. שיטות וחומרים :

### מטרת מחקר :

מטרת מחקר זה לפתח שיטה לזיהוי עקת מים בצמח האבוקדו בשל חוסר במים, באמצעות צילום תרמי, על מנת להחליף שיטות פחות יעילות בהן משתמשים היום. לשם כך, צריך למצוא את המתאם בין הטמפרטורה הנמדדת במצלמה התרמית לבין פוטנציאל המים בצמח הנמדד בתא הלחץ.

### שאלת מחקר

האם קיים מתאם בין פוטנציאל המים בצמח, הנמדד באמצעות מד לחץ, לבין טמפרטורת העלה, הנמדדת באמצעות מצלמה תרמית, בשתילי אבוקדו בחממה?

### השערות

השערה 0H : לא קיים מתאם בין פוטנציאל המים בצמח, הנמדד באמצעות מד לחץ, לבין טמפרטורת העלה, הנמדדת באמצעות מצלמה תרמית, בשתילי אבוקדו בחממה.

השערה 1H : קיים מתאם בין פוטנציאל המים בצמח, הנמדד באמצעות מד לחץ, לבין טמפרטורת העלה, הנמדדת באמצעות מצלמה תרמית, בשתילי אבוקדו בחממה.

### משתנים

#### המשתנים התלויים :

משתנה תלוי 1 : פוטנציאל המים בעלה, הנמדד באמצעות מכשיר "תא לחץ". טווח הערכים 0-30 bar.

משתנה תלוי 2 : טמפרטורת עלה, הנמדדת באמצעות מצלמה תרמית. טווח הערכים 0-100 מעלות צלזיוס. טמפי' נוף הצמח סביב 30 עד 45 מעלות, תלוי בעקת מים וטמפי' הסביבה.

#### משתנה בלתי תלוי :

כמות המים שמקבל הצמח

### מדדים :

מצלמה תרמית : המדד הינו טמפרטורת העלה.

תא לחץ : המדד הינו פוטנציאל המים בצמח.

### אמצעי מדידה

1. מצלמה תרמית מסוג Flir C3

2. תא לחץ מסוג Model 600 Pressure Chamber Instrument



לוח המחקר

| שלב מספר | תקופה               | השלב במחקר   |
|----------|---------------------|--|
| 1        | ספטמבר 18-דצמבר 18  | ביצוע הכנות, הכנת הצעת מחקר, לימוד חומר רקע  |
| 2        | ינואר 19-פברואר 19  | ביצוע ניסוי ראשון  |
| 3        | מרץ 19-יולי 19      | תקופת התאוששות לשתילים בין הניסוי הראשון לניסוי השני, ניתוח תוצאות של הניסוי הראשון. |
| 4        | אוגוסט 19-נובמבר 19 | ביצוע ניסוי שני  |
| 5        | דצמבר 19            | ניתוח תוצאות סופי וכתובה   |

### 3. תיאור המחקר

מחקר זה כלל שני ניסויים, שהתבצעו לאורך שנת 2019, בחממה האקולוגית בעין שמר. לטובת ביצוע המחקר, הקמתי, בליווי של האגרונום אודי גפני מחברת "אבוקדו גרנות" ושל ד"ר איתמר נדב, ממו"פ "נטפים" מגל, מערך מחקר תחת גג החממה, שכלל 24 שתילי אבוקדו מזן האס. שתילים אלו נקנו ממשלת "חסקלברג". כל שתיל אבוקדו הגיע מהמשתלה בשק אדמה בנפח 5 ליטר. לכל שתיל כנה מסוג אשדות 17 ורוכב מסוג האס. את השתילים חילקתי לקבוצות הניסוי בהן 8 שתילים בכל קבוצה הבאות:

A- קבוצת ביקורת

B- קבוצת טיפול 1

C- קבוצת טיפול 2

הקבוצות נבדלו בטיפולי ההשקיה, כפי שאפרט בהמשך.

הצבתי את השתילים במערך של שתי שורות, בהתאם לאיור המוצג בהמשך. פרסתי שלושה קווי השקיה, לכל טיפול קו השקיה מתאים, ובקצה כל קו מיקמתי שעון השקיה. לכל שתיל הכנתי שלט, עליו כתוב קבוצת הטיפול ומספרו בקבוצת הטיפול.

כפי שאתאר כעת, לאורך המחקר, ביצעתי שני ניסויים. את הניסוי השני, ביצעתי לאור תיקונים שנדרשו בעקבות ניתוח הניסוי הראשון.

**1.3. הקמת הניסוי הראשון**- בניסוי הראשון, לקחתי עשרים וארבע שתילי אבוקדו מזן האס. השתילים חולקו לשלוש קבוצות טיפול שונות על ידי הפרדת מערכת ההשקיה בעזרת מחשב השקיה מסוג Itec-6DC, בכל קבוצה שמונה שתילים:

טיפול ביקורת (A): השקיה של 270 סמ"ק לעציץ ליום

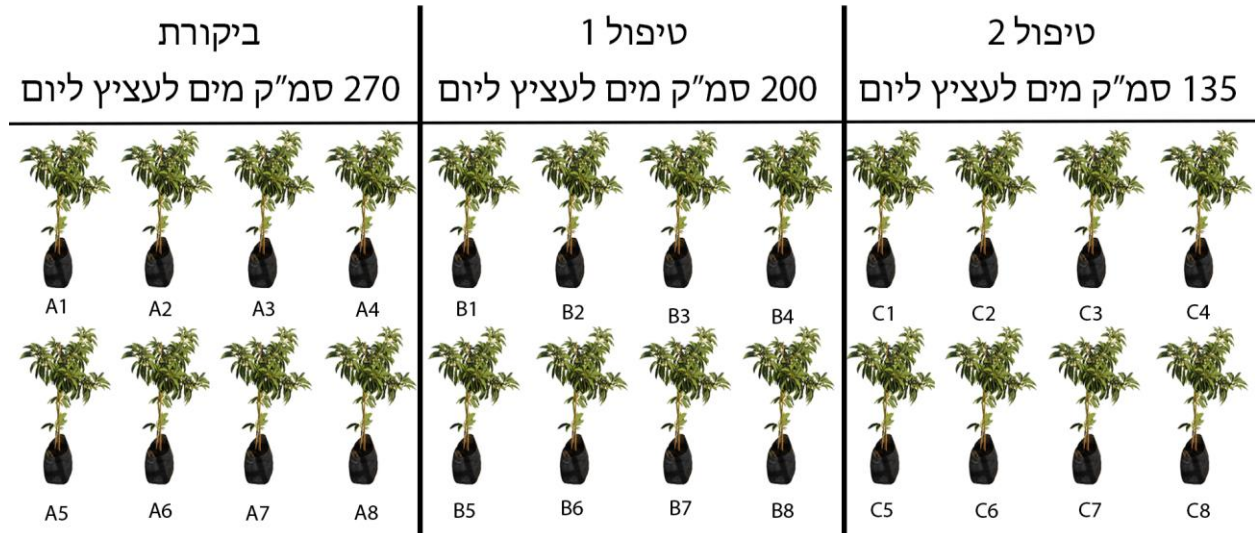
טיפול 1 (B): השקיה של 200 סמ"ק לעציץ ליום (כ- 25% פחות מן טיפול הביקורת)

טיפול 2 (C): השקיה של 135 סמ"ק לעציץ ליום (כ- 50% פחות מן טיפול הביקורת)

טיפולים אלו נבחרו כדי להכניס חלק מהעצים (העצים ש בטיפול 1 ו-2 (B ו-C)) למצב עקת יובש, כך שיהיה ניתן לראות במכשירים השונים מה מצב המים בצמח ולהשוות מה רואים במכשירים.

כלל הטיפולים קיבלו דשן מסוג 737 ביחס של 0.2% אחוז מכמות המים.

## איור ניסוי



באיור ניתן לראות כיצד שתילים היו מחולקים לקבוצות ניסוי וממוספרים ומתויגים בהתאם. בנוסף ניתן לראות את הטיפולים השונים.

במהלך הניסוי הראשון, עצי האבוקדו החלו להראות סימני מצוקה, כגון נשירת עלים והנצה מוקדמת. בניתוח המצב, בעזרת אודי גפני, האגרונום של חברת אבוקדו גרנות, הבנו שהעצים נכנסו לעקת מים מוגזמת, כלומר שטיפולי ההשקיה שהגדרנו היו מצומצמים מדי מבחינת כמות המים הניתנת לשתילים. תופעה זו לא הופיעה בכל העצים, אך ברובם כן (ללא הבדל בין הטיפולים). בעקבות תופעה זו, החלטנו לבצע ניסוי שני. מתוך ניתוח הממצאים בניסוי הראשון, הגענו למסקנה שיש צורך לגרום לעקת מים קצרת-טווח. בעקת המים הקצרת-טווח, העצים נכנסו לסטרס מהר, אך בין מדידה למדידה הם הספיקו להחלים.

על מנת ליצור עקת מים קצרת טווח, סגרתי את ההשקיה בזמנים שונים לפני כל מדידה כדי ליצור עקה מיידית בשתילים. את המדידות קבענו לימי חמישי בשבוע. ביום ראשון, סגרנו את השקיה של טיפול 2 (C). ביום שלישי סגרנו את ההשקיה של טיפול 1 (B).

### טרום ניסוי שני:

במהלך חודשים מרץ-אפריל השקנו את השתילים פעם ביום במנה של כ-800 סמ"ק, לאחר שהבחנו בתקלה, בהמלצת אודי גפני עברנו להשקות את השתילים בשתי מנות ליום של כ-1500 סמ"ק (סך הכל 3000 סמ"ק ליום).

### 2.3. הקמת הניסוי השני

לאחר שהבנתי יחד עם אודי גפני שהעצים נמצאים במצבי עקה חמורים למדי בגלל משטר ההשקיה בניסוי הראשון, הבנו שיש צורך להחליף את שיטת ההשקיה. לכן חשבנו על דרך בה במקום שהעצים יהיו במצב עקה תמידי, אנחנו מכניסים את העצים לעקה רק בשבוע הניסוי כמתואר להלן-

טיפול ביקורת (A)- השקיה של שתי מנות מים ביום של כ-1500 סמ"ק מים (3000 סמ"ק מים ליום)

טיפול 1 (B)- ההשקיה של טיפול 1 (B) מופסקת כשלושה ימים לפני ביצוע המדידה.

טיפול 2 (C)- ההשקיה של טיפול 2 (C) מופסקת כחמישה ימים לפני ביצוע המדידה.

בין מדידה למדידה ישנו לפחות שבוע הפרש כדי לתת זמן התאוששות לשתילי האבוקדו.

איור מס' 8 : איור מערך הניסוי השני

## איור ניסוי



### 3.3. תיאור שיטות המדידה :

א. במדידה הראשונה העצים הושקו לפי משטר ההשקיה הכתוב בהקמת הניסוי הראשון. לעומת זאת במדידה השנייה כחמישה ימים לפני המדידה סגרת את קבוצת טיפול 2 (C) ולאחר יומיים סגרת את קבוצת טיפול 1 (B). זאת כדי ליצור שינוי בין התוצאות, כדי שלא יהיו אחידות ולאמת שניתן לראות את הקורלציה בין תא הלחץ למצלמה בכל מצב עקה.

ב. כיסיתי בכל עץ עלה אחד בנייר אלומיניום כמה שעות לפני המדידה. זאת עשיתי כדי למנוע מהפיוניות דיות של המים, כדי שכמות המים בעלה תשקף את כמות המים בצמח.

ג. ביחד עם איתמר נדב (המנחה) ביצעתי את המדידות עם תא לחץ ומצלמה תרמית. השיטה היתה שאיתמר מדד באמצעות תא הלחץ ובמקביל אני צילמתי את העצים במצלמה התרמית. התוצאות הוכנסו על ידנו לטבלה ייעודית שהכנתי לאותו יום בשביל המדידה.

ד. לטבלה הייעודית הוספתי תאריך וטמפרטורה, ולאחר מכן הכנסתי את התוצאות אל האקסל. אחרי זה שלחתי לאיתמר את האקסל, איתמר הוריד את תוצאות המצלמה התרמית והחזיר לי את קובץ התוצאות המעודכן.

השערות - שיערתי שתהיה עקת יובש בטיפולים 1 ו-2, ושיערתי שנוכל לראות את חומרת העקה על ידי תא הלחץ והטנסיומטר. שיערתי שעל ידי הצילום התרמי יהיה ניתן לראות את טמפרטורת העלה. בנוסף שיערתי שבטיפולים 1 ו-2 טמפרטורת העלווה תעלה בגלל עקת המים.

- א. נצפה עקת יובש בטיפולים 1 ו-2.  
 ב. נוכל לראות את חומרת העקה באמצעות תא הלחץ.  
 ג. על ידי הצילום התרמי יהיה ניתן לראות את טמפרטורת העלה.  
 ד. בטיפולים 1 ו-2 טמפרטורת העלווה תעלה בגלל עקת המים.

להלן יומן הניסוי:

| תאריך | יום | פעולות שביצעתי  | דברים מיוחדים שראיתי | טמפ' בחממה           |
|-------|-----|---|----------------------|----------------------|
| 24.1  | ה'  | ביצענו מדידת אפס.   |                      | 25.8 מעלות יום שימשי |
| 3.2   | א'  | מדדתי ספיקות בעצים A2, 2A3, B3, B4, C1, C בגלל שעץ 1C הינו שתיל קטן - החלפתי בינו לבין עץ 2C במדידת הטנסיומטר     |                      | 17.87 מעלות          |
| 7.2   | ה'  | ביצענו מדידה ראשונה.  |                      | 24.6 מעלות, יום שמש  |
| 10.2  | א'  | הבחנתי בהנצה בעצים. בכל הטיפולים.   |                      |                      |
| 17.2  | א'  | איתמר (המנחה) הבחין שיש לנו בעיית צל עם השורה האחורית של העצים, לכן הזזתי את כל העצים כ-30 סנטימטרים מערבה.       |                      |                      |
| 24.2  | א'  | קיצרתי את כל צינורות ההשקיה בצד המזרחי והזזתי את העצים המזרחיים כ-20 סנטימטרים מערבה (כהמשך למה שעשיתי שבוע קודם) |                      |                      |

|   |                                      |   |    |      |
|---|--------------------------------------|---|----|------|
| 20 יום גשום ומעונן - לכן האידיוי מהצמחים היה קטן וזה השפיע על התוצאות | צמח פרי אבוקדו על עץ מקבוצת הטיפול 2 | ביצענו מדידה שנייה  | ה' | 28.2 |
|   |                                      | עקב אי דיות מעץ 2B אשר אליו היו מחוברים הטנסיומטר והדנדרומטר של קבוצת B, העברנו את אמצעי המדידה לעץ 4B.   | ה' | 7.3  |
|   |                                      | עקב איבוד מים רב מן העלווה, החלטנו לשנות את משטר ההשקיה. מעכשיו כל העצים יקבלו את אותה מנת מים עד לשבוע לפני המדידה. שבוע לפני המדידה נפחית לטיפול C את ההשקיה ושלושה ימים לפני המדידה נפחית את ההשקיה של קבוצה B. הספיקה החדשה: כל העצים מקבלים 660 סמ"ק מים ביום. | א' | 10.3 |
|   |                                      | נפגשתי עם אודי גפני ואיתמר, והוסכם עקב נשירת העלים לעשות גיזום גדול בצמחים, להוציא אותם מעקת מים, ולהתחיל את הניסוי מחדש לאחר פסח. משטר ההשקיה יהיה שנכניס את הצמחים לעקת מים רק בשבוע המדידה.  | א' | 24.3 |
|   |                                      | התחילה הנצה בחלק מהצמחים  | א' | 1.4  |
|   |                                      | לאחר פגישה עם אודי גפני, הבנו שצריך לשנות את משטר ההשקיה, מהיום כל השתילים מקבלים שתי מנות מים של 1500 סמ"ק בשעות 8:00 ו-16:00.   | א' | 26.5 |
|   |                                      | נפגשתי עם אודי גפני ולאחר שהוא בחן את השתילים, החלטנו לעלות את מנות המים שהשתילים מקבלים ל-2000 סמ"ק.   | א' | 23.6 |
|   |                                      | לאחר פגישה עם אודי גפני הבנו שיש צורך להוסיף, מעט ברזל (Fe) לעצים, לכן הוספתי לכל שתיל ליטר מים המכילים 10 מיליגרם של ברזל.   | ב' | 30.6 |
| 38.1  |                                      | ביצעתי מדידה ראשונה במערך הניסוי השני   | ג' | 13.8 |
| 35.3  |                                      | ביצעתי מדידה שנייה במערך הניסוי השני  | ה' | 29.8 |
| 35.13 (מעונן)   |                                      | ביצעתי מדידה שלישית במערך הניסוי השני   | ה' | 12.9 |
| 31.6  |                                      | ביצעתי מדידה רביעית ואחרונה במערך הניסוי השני   | ה' | 7.11 |

איור מס' 9 : טבלת מדידת הניסוי

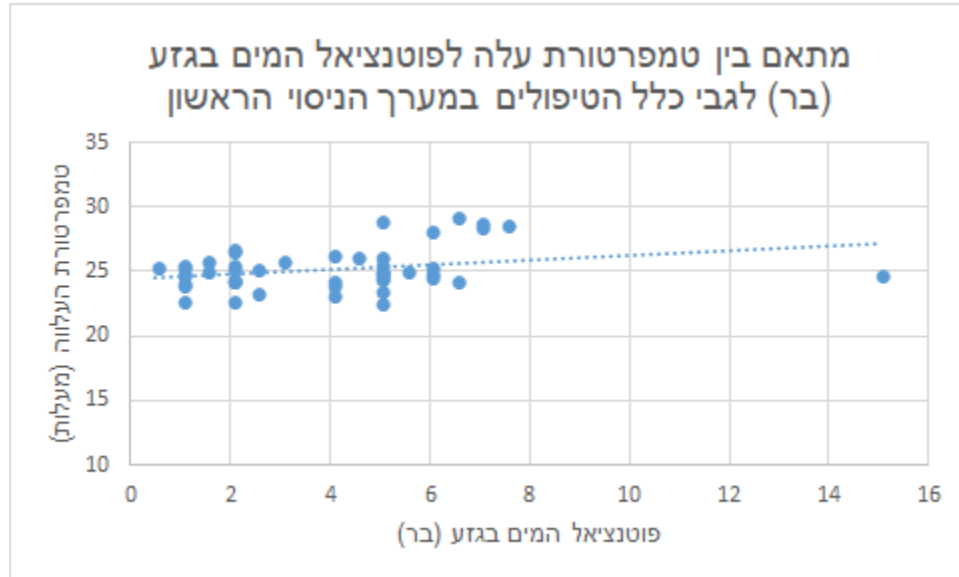
| Sentibar | cm |
|----------|----|
| 3        | A1 |
| 3        | A2 |
| 2        | A3 |
| 2        | A4 |
| 2        | A5 |
| 3        | A6 |
| 3        | A7 |
| 2        | A8 |
| 3        | B1 |
| 8        | B2 |
|          | B3 |
| 4        | B4 |
| 7        | B5 |
| 5        | B6 |
| 5        | B7 |
| 6        | B8 |
| 10       | C1 |
| 11       | C2 |
| 10       | C3 |
| 11       | C4 |
| 9        | C5 |
| 15       | C6 |
| 11       | C7 |
| 9        | C8 |

31.62 ט"ס      7.11.19 תאריך

#### 4. ממצאים

להלן ממצאי המחקר:

גרף מס' 1: הניסוי הראשון: מתאם בין טמפרטורת העלה לפוטנציאל המים בגזע, בכלל הטיפולים.



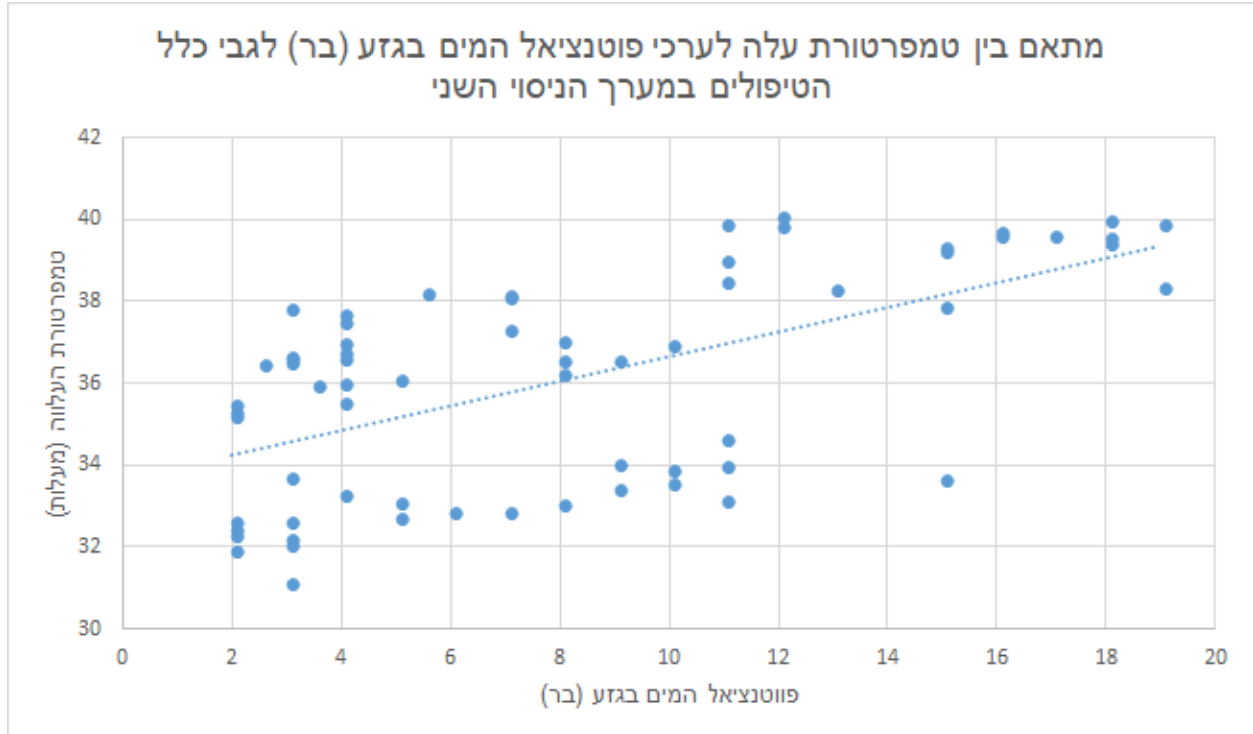
$$y = 0.1814x + 24.454$$

$$R^2 = 0.0854$$

גרף זה מציג את כלל תוצאות המדידות של הניסוי הראשון. ציר ה-X מתאר את פוטנציאל המים בגזע (בר) וציר ה-Y מתאר את טמפרטורת העלוה (מעלות). בגרף זה ניתן לראות שיש עקומה אך היא אינה אחידה והמתאם שלה חלש בין פוטנציאל המים בצמח לבין הטמפרטורה.  $R^2 = 0.0854$ . בניסוי זה, כאמור העצים סבלו מעקת מים קשה לאורך זמן רב. ככל הנראה, כפי שניתן לראות בגרף זה, כאשר הצמחים במצב עקה לטווח ארוך, לא ניתן לראות מתאם בין פוטנציאל המים בצמח לבין טמפרטורת העלוה.



גרף מס' 2: ניסוי שני: מתאם בין טמפרטורת העלה לפוטנציאל המים בגזע, בכלל הטיפולים.



גרף זה מציג את כלל תוצאות המדידות של מערך הניסוי השני. ציר ה-X מתאר את פוטנציאל המים בגזע (בר) וציר ה-Y מתאר את טמפרטורת העלווה (מעלות). בגרף זה ניתן לראות שקיים קשר חלש בין פוטנציאל המים בגזע לבין הטמפרטורה על ידי העקומה.  $R^2 = 0.3607$ . מכך ניתן להסיק שישנו מתאם בין פוטנציאל המים בצמח לבין הטמפרטורה בעקה מיידית, אך ההתאמה ביניהם אינה אחידה במיוחד.

שיטת מציאת המתאם בה השתמשתי עד כה, השוואת פוטנציאל המים בגזע לטמפרטורת העלווה, אינה הייתה מועילה במיוחד. מכיוון שכל מדידה נעשתה בטמפרטורה שונה, בשעות שונות ובמזג אוויר שונה. לכן כאשר משווים ביניהן אין התאמה בין פוטנציאל המים בגזע לבין טמפרטורת העלווה. על פי כן בחרתי להשתמש בנוסחת CWSI, נוסחה המאפשרת להשוות בין המדידות השונות.

אציג את הנוסחה CWSI, וכיצד אני הצבתי את הפרמטרים:

### שיטת נוסחת CWSI

CWSI הינה נוסחה יחסית המאפשרת להשוות בין מדידות שונות בהם היה טמפרטורות שונות. הרכב הנוסחה הוא  $(T_{dry} - T_{wet}) : (T_c - T_{wet})$ . בנוסחה זו כמה אפשריות של הצבת ערכי  $T_{dry}$  ו- $T_{wet}$ . אני הצבתי את הנתונים כך :

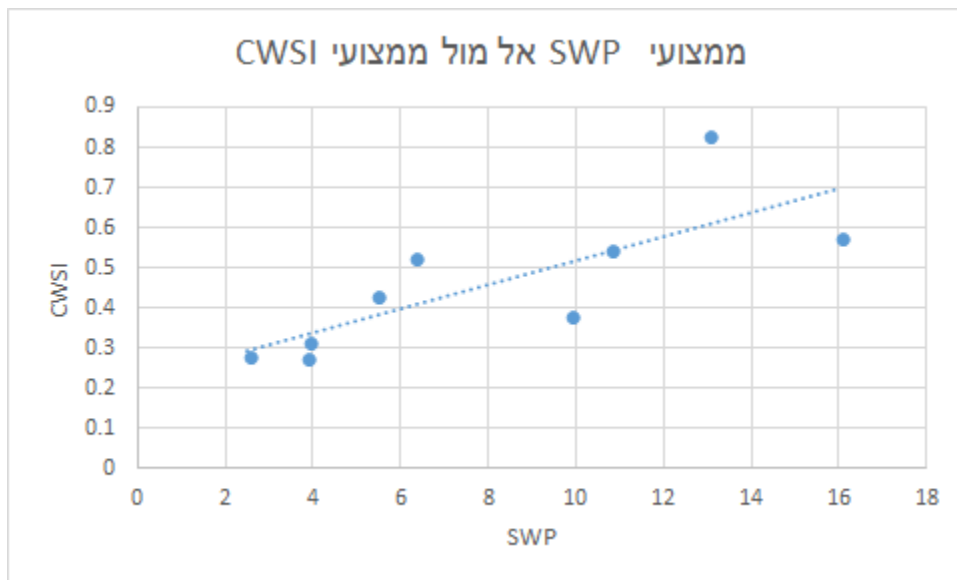
$T_c$  = לטמפרטורה העלוה.

$T_{dry}$  = טמפרטורה האוויר + 5°.

$T_{wet}$  = הטמפרטורה המינמלית הנמדדה בעצים.

$T_{wet}$  מוגדר כך מכיוון שעצים הושקו בצורה מבוקרת.

גרף מס' 3 : ניסוי שני : מתאם בין ממוצעי פוטנציאל המים בגזע (SWP) מול ממוצעי ה-CWSI.



$$y = 0.0297x + 0.2208$$

$$R^2 = 0.603$$

בגרף זה ניתן לראות את ממוצעי מדידות ה-SWP (פוטנציאל המים בגזע [בר]) אל מול ממוצעי ה-CWSI בטיפולים השונים במערך הניסוי השני. על פי הגרף ניתן לראות שקיים מתאם חזק בין ה-CWSI לבין ה-SWP.  $R^2 = 0.603$ . מכך ניתן לחלץ, שהקשר בין פוטנציאל המים בגזע לבין טמפרטורת העלה היא המשוואה של  $y = 0.0297 + 0.2208$ .

## 5. דיון ומסקנות

למרות שקיימים קולות שטוענים אחרת, אני נוטה להאמין למחקרים שטוענים שאנו נמצאים בתחילתו של משבר אקלים, משבר שישנה סדרי עולם רבים שהכרנו בכל הקשור למשטר האקלים באזורים שונים על פני כדור הארץ. אחת ההשפעות שכבר ניתן לראות היא השינוי בכמות המשקעים ובפיזורם. שינוי שכפי שנראה כעת יפחית את משאבי המים שיעמדו לאדם בכלל ולחקלאות בפרט.

שינוי כזה מחייב אותנו למצוא את הדרכים לניצול יעיל וחסכני של המשאבים הקיימים, לרבות משאבי המים. כפי שהראתי בניסוי, למזלנו הטכנולוגיה כבר כאן, ומה שמוטל עלינו הוא לדעת לרתום את הטכנולוגיה הקיימת לטובת החקלאות.

שכלול השימוש במצלמות תרמיות ורחפנים לטובת טיוב ודיוק החקלאות, ביחד עם הירידה במחיריהם, תאפשר לכל חקלאי לבצע את הבדיקות והבחינות ולהשתמש במשאבי המים שיעמדו לרשותו באופן המיטבי.

זו היתה מטרתי בביצוע המחקר, לבדוק האם המצלמות התרמיות יכולות להחליף את הבדיקות הידניות, הלא יעילות המבוצעות כיום, בשיטה זמינה ומהירה יותר.

### אפרט את מסקנות המחקר:

א. **המסקנה המרכזית היא, שתוצאות המחקר הראו שקיים מתאם בין פוטנציאל המים בגזע לבין הטמפרטורה.** דבר זה ניתן לראות מהמשוואה בה השתמשתי. כאמור אם נציב במשוואה  $y=0.0297x+0.2208$  בתור  $y$  את הטמפרטורה הנמדדה, יש מתאם של 0.603 בין הטמפרטורה לפוטנציאל המים בגזע. כך, ניתן לדעת את פוטנציאל המים בגזע על ידי הטמפרטורה. מכאן, שניתן לדחות את ההשערה  $H_0$ , ולקבוע כי קיים מתאם בין פוטנציאל המים בצמח, הנמדד באמצעות מד לחץ, לבין טמפרטורת העלה, הנמדדת באמצעות מצלמה תרמית, בשתילי אבוקדו בחממה. בהתייחס לממצאים אלו, מטרת המחקר הושגה באופן חלקי: אמנם, על פי הממצאים, קיים קשר בין ערכי תא הלחץ לערכי המצלמה, אך חשוב לזכור שמדובר בניסוי עם מספר תצפיות קטן, ובכדי להגיע לנוסחה מדויקת יהיה צורך בקיום של מספר רב יותר של תצפיות.

ב. **מספר התצפיות:** הצורך במספר רב יותר של תצפיות עולה גם מהתוצאה הנוספת שקיבלתי בניסוי הראשון. תוצאות הניסוי הראשון הראו שכאשר העצים בעקת מים ממושכת, לא ניתן לראות את השינויים בברור בתוצאות המדידות של תא הלחץ ובאלו שקיבלנו מהמצלמה התרמית. לעומת זאת כאשר העצים נמצאים בעקה מיידית, ניתן היה לראות בבירור את עקת המים.

ג. **כמויות השקיה:** אבוקדו הינו עץ שצריך יחסית הרבה מים, וכאשר הוא אינו מקבל את הכמות הנדרשת הוא מראה זאת בסימנים שונים. על פי הניסוי הראשון היה ניתן לראות שבגלל מחסור במים, לעצי האבוקדו הייתה הנצה מוקדמת. בנוסף על כך אחד מעצי אף נבל ומת בגלל המחסור במים. מכך עולה שמחסור משפיע רבות על עצי האבוקדו.

ד. **שיטת ההשקיה לפני מדידה:** בניסוי הראשון השתמשנו בשיטת השקיה בה נתנו כמויות מים שונות לכל טיפול לאורך תקופה ממושכת (כל יום – היה הבדל בין הכמות שקיבלה קבוצה A לזו שקיבלה קבוצה B לזו שקיבלה קבוצה C). באופן זה, העצים ביצעו פעולות התאמה לעקת המים הממושכת, לכן היה קשה יותר לראות את עקת המים בתוצאות התא לחץ ובטמפרטורת העלווה. לכן, בניסוי השני, שינינו את שיטת ההשקיה: לאורך שבוע כל העצים בכל הטיפולים קיבלו כמות זהה של מים, ובשבוע של הניסוי יזמנו עקה מהירה: ביום ראשון בשבוע עצרנו השקיה לקבוצה C, ביום שלישי בשבוע עצרנו השקיה לקבוצה B – ולקבוצה A – לא שינינו את ההשקיה. בשיטה זו, היה ניתן לראות את עקת המים בבירור בתוצאות התא לחץ ובטמפרטורת העלווה.

ה. **שיטת חישוב הנוסחה:** בנוסחת CWSI ניתן להציב את הפרמטרים בכמה דרכים. מכיוון שהניסוי נעשה באופן מבוקר בחממה, קבוצת הביקורת שימשה אותי כנקודת ייחוס למצב בו העץ מושקה, ואין לו מחסור במים. במצב כזה הטמפרטורה צריכה להיות גם הטמפרטורה המינימלית, לכן הצבתי את הטמפרטורה הכי נמוכה שנמדדה באותה מדידה כ-Twet. כאשר ניסיתי להציב את Twet כטמפרטורת האוויר פחות 10 מעלות (שיטה שמקובלת כיום), קיבלתי בגרף מתאם נמוך יותר. מכאן ניתן להסיק שכאשר ישנה נקודת ייחוס, המתאם גבוה יותר.

ו. **עקת יובש בטיפולים 1 ו-2:** בניסוי הראשון היה ניתן לראות את עקת היובש שהשפיעה על טיפולים 1 ו-2 בסמיני המצוקה. מכך ניתן להסיק שהשערת יובש בטיפולים 1 ו-2 אכן נכונה לניסוי. כמו כן גם בניסוי השני היה ניתן לצפות בעקת יובש בטיפולים 1 ו-2, אך לא בסמיני מצוקה, אלא בתוצאות תא הלחץ ובטמפרטורת העלווה.

ז. **נראות חומרת עקת המים באמצעות תא לחץ:** בניסוי הראשון, מכיוון שהעצים התרגלו לעקת המים, לא היה ניתן לראות את חומרת עקת המים באמצעות תא הלחץ. לעומת זאת בניסוי השני ניתן לראות שככל שהעצים לא הושקו יותר ימים כך שתוצאות התא לחץ היו גבוהות יותר. מכך ניתן להסיק שהשערת יובש שנוכל לראות את חומרת עקת המים באמצעות תא לחץ נכונה רק לגבי הניסוי השני.

ח. **נראות טמפרטורת העלה על ידי הצילום התרמי:** במהלך הניסוי הראשון והשני השתמשתי במצלמה תרמית, ואכן כפי ששערת יובש היה ניתן לראות באמצעותה את טמפרטורת העלה.

ט. **עליית טמפרטורת העלווה עקב עקת המים:** בניסוי הראשון, מכיוון שהעצים התרגלו לעקת המים, טמפרטורת העלווה לא עלתה. לעומת זאת בניסוי השני ניתן לראות, שככל שהעצים לא הושקו יותר ימים כך טמפרטורת העלווה עלתה. מכך ניתן להסיק שהשערת יובש בטיפולים 1 ו-2 טמפרטורת העלווה אכן עלתה בגלל עקת המים, אך רק בניסוי השני.

## הצעות להמשך

ככל שנצליח לדייק את הנוסחה, כך יגבר האמון של החקלאים בתוצאות הבדיקות המבוצעות באמצעות צילום תרמי, ויחד עם האמון אני מניח שיגבר גם השימוש. לכן הייתי ממליץ להגדיל את מספר החזרות, כדי ליצור משוואה אמינה יותר בעל מתאם גבוה יותר. המדידות צריכות להתבצע בתקופות שונות של השנה, בשעות שונות של היממה ובמצבי מזג אוויר שונים. ככל שנבצע יותר מדידות, נוכל להגיע לנוסחה מדויקת יותר ואני מאמין שבסופו של דבר ניתן יהיה להגיע לנוסחה אמינה, שתוצאותיה יהיו טובות לפחות כמו אלו המתקבלות היום בשיטות המדידה הקיימות. אני מאמין שבמצב זה, התוצאות אף יהיו טובות יותר באופן יחסי, שכן הן תאפשרנה קבלת תוצאות מהירות וזמינות עבור הרבה יותר עצים במטע מהמספר הנמדד היום ובהתאם כמות המים שהחקלאי ישקה את העצים צפויה להיות בממוצע מדויקת יותר ונכונה יותר לרובם של העצים.

בנוסף השתמשתי במחקר בטמפרטורה המינימלית שנמדדה במצלמה התרמית כנקודת ייחוס ל-CWSI והצבתי את זה כ-Twet. לכן אני ממליץ להמשך למצוא דרך טובה יותר ל-Twet שלא תסתמך על נקודת ייחוס.

תוצאות המחקר שמלמדות שיש פתרון זמין לבדיקת העקת מים באבוקדו, צריכות ויכולות לשמש כדוגמה לבדיקות דומות בגידולים רבים אחרים. היכולת לדעת באמצעות מצלמות תרמיות, באופן מדויק את הצורך בהשקיה בכל עץ ועץ או בכל חלק מחלקי השדה, ביחד עם מערכות ההשקיה המדויקות שקיימות היום, יכול להביא לחסכון במים באופן ניכר. פיצוח הנוסחאות ושימוש נרחב בטכנולוגיה הקיימת היום, הינו בעל פוטנציאל ליצור מהפכה בהשקיה חקלאית, שיכולה להביא לחסכון ודיוק שכמוהו לא נראה מאז המעבר להשקיה בטפטפות.

באופן אישי, המחקר היווה עבורי אתגר והנאה. אתגר, כי נאלצתי להתמודד עם תחום שלא הכרתי קודם לכן, חקלאות. דבר שחייב לימוד והכרה של הקשיים והאתגרים בפניהם עומד המגדל והשיקולים שהוא צריך לשקול. הנאה, שכן הטכנולוגיה היא תחום אהוב עלי ושמתתי לראות ולמצוא כיצד ניתן באמצעות הטכנולוגיה הקיימת היום, לקדם את החקלאות. אני מאמין, שחקלאות אינה רק עבודת כפיים, אלא יש בה מקום רב לטכנולוגיה, וככל שיגבר השימוש בטכנולוגיה, תשתפר ותתקדם החקלאות.

## תודות

לאיתמר נדב מחברת "נטפים", שהנחה אותי בעבודה ושעזר לי בכל מה שהייתי זקוק לו, ברקע מדעי, ביצוע המדידות, וניתוח התוצאות.

לאודי גפני מחברת "אבוקדו גרנות", שהנחה אותי בכל ההיבט האגרונומי של המחקר.

לנועם גבע, שהנחה אותי בכתיבת העבודה, שעזר לי בכל תהליך כתיבתה מההתחלה ועד לסיומה.

לצוות החממה שסיפק לי מקום לביצוע המחקר, ועזר לי הן מבחינה לוגיסטית והן מבחינה של רקע מדעי. לארז רבינוביץ', אביטל גבע, יעל אגוזי ויאיר מידוסר.

ליק"א בישראל שתמכה במחקר, כחלק מהתמיכה בתחום חקלאות מדייקת בחממה.

למפעלי גרנות, שתמכו במחקר כחלק מתמיכתם לפיתוח החינוך לחקלאות מתקדמת בחממה.

לחברת אבוקדו גרנות, שסיפקה את שתילי האבוקדו ונתנה את הייעוץ המקצועי מצדו של אודי גפני.

לחברת נטפים, שסיפקה ציוד לביצוע המחקר, כגון מערכת השקיה, תא לחץ, מצלמה תרמית ועוד, ונתנה את הייעוץ המדעי טכנולוגי מצדו של איתמר נדב.

לשי זילברברג על העזרה בכתיבה בהיבט הכלכלי.

לבית ספר מבואות עירון ולאחראית על עבודות הגמר גלית אשטמקר על הליווי והתמיכה.

## רשימת ספרות

אבוקדו גרנות, סיפור האבוקדו הישראלי, קישור :

<http://avocado.granot.co.il/%D7%A1%D7%99%D7%A4%D7%95%D7%A8-%D7%94%D7%90%D7%91%D7%95%D7%A7%D7%93%D7%95-%D7%94%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C%D7%99/>

27.10.2019: כניסה אחרונה: <http://avocado.granot.co.il/%D7%A1%D7%99%D7%A4%D7%95%D7%A8-%D7%94%D7%90%D7%91%D7%95%D7%A7%D7%93%D7%95-%D7%94%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C%D7%99/>

אגר, עדו (2018). משק המים בישראל- סוגיות מרכזיות, מרכז המחקר והמידע, הכנסת.

אלחנתי ו', כהן י', מרון מ', וסרנגה י' (2003). מיפוי פוטנציאל מים באמצעות צילומים תרמיים להכוונת השקיה, גיאודזיה, מיפוי ומידע גיאוגרפי.

אתר משרד החקלאות ופיתוח הכפר, אבוקדו. כניסה אחרונה 16.1.19 קישור :

[https://www.moag.gov.il/subject/the\\_food\\_we\\_eat/perot\\_ve\\_yerakot/Pages/avokado.aspx](https://www.moag.gov.il/subject/the_food_we_eat/perot_ve_yerakot/Pages/avokado.aspx)

בעיית ההמלחה- אפיון, זיהוי ודרכים להפחתת הזנק (1998) קישור :

[http://www.amalnet.k12.il/meida/water/maamar\\_print.asp?code\\_name=A\\_maim0189](http://www.amalnet.k12.il/meida/water/maamar_print.asp?code_name=A_maim0189)

כניסה אחרונה : 23.8.2018

ברנשטיין נירית, מאירי אברהם, זילברשטיין מרים (2009). השפעת מליחות על צימוח עצי האבוקדו, 'עלון הנוטע', עמ' 41-44.

גולן-אנגלקו ע' ובראור י' (2008). היערכות ישראל לשינויי אקלים גלובליים, לשכת המדען הראשי, המשרד להגנת הסביבה, מדינת ישראל.

ויקיפדיה, הערך: אבוקדו. כניסה אחרונה 16.1.19 קישור :

<https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%90%D7%91%D7%95%D7%A7%D7%93%D7%95>

ירוק 2000 בע"מ, מידע חשוב על טנסיומטר של אירומטר – הטנסיומטר הטוב בעולם. ירוק 2000, תשומות וידע לחקלאות בע"מ.

כללית, אבוקדו המלך הירוק, קישור :

27.10.2019: כניסה אחרונה: [https://www.clalit.co.il/he/lifestyle/nutrition/Pages/avocado\\_rules.aspx](https://www.clalit.co.il/he/lifestyle/nutrition/Pages/avocado_rules.aspx)

כץ, לנה (2015). השווקים לאבוקדו מישראל, סקירה תקופתית, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, עמ' 1-22.

ליאור ו' וזקס א' (2006). עלון הנוטע, מגזין מספר 60, עמודים 33-35.

מועצת הצמחים מידע כללי, אבוקדו, קישור: <http://www.plants.org.il/index.aspx?id=4459>

כניסה אחרונה: 15.9.2019

פורטל המים של ישראל, התפלת מי ים, קישור: <https://www.water.org.il/התפלת-מי-ים/> כניסה אחרונה:

15.8.2018

פורטל המים של ישראל, משבר המים בישראל, קישור: <https://www.water.org.il/05/משבר-המים-בישראל/>

כניסה אחרונה: 15.8.2018

פורטל המים של ישראל, שאיבת מים - מי ים, קישור: <https://www.water.org.il/שאיבת-מי-תהום/> כניסה

אחרונה: 15.8.2018

רוזנטל ג', הוכברג י' וצבן ש' (2015). אבוקדו שיווק ותמחיר, צנובר.

רון, ניר (2007). בצורת בישראל, החוג לגיאוגרפיה ולימודי הסביבה, אוניברסיטת חיפה, עמודים 98-106

California Avocado Commission Website, Irrigating Avocados. כניסה אחרונה 16.1.19 קישור:

<https://www.californiaavocadogrowers.com/sites/default/files/documents/Irrigating-Avocados-Fact-Sheet.pdf>

Nrg, מועצת מנשה מציגה: ניצחנו את הבצורת, קישור:

<https://www.makorrishon.co.il/nrg/online/54/ART2/190/889.html> כניסה אחרונה: 7.11.2019

The Leaf Water Potential: Principles, Method and Thresholds קישור:

<http://www.wineland.co.za/the-leaf-water-potentials-principles-method-and-thresholds/>

כניסה אחרונה: 29.8.2018