

שיפור הערך הכלכלי של גידולי פרחים וירקות באמצעות מערכת טכנולוגית חדישה לבקרת טמפרטורת הקרקע

דו"ח מסכם לשנת 2023 לתכנית מחקר מס. 91-117-20

שנת המחקר 3 מתוך 3 שנים

חוקר ראשי: מנשה כהן

סטטוס התכנית: סופי

מועד התחלה: אוגוסט 2020, מועד סיום: יולי 2022

תקציר

הצגת הבעיה. מהתוצאות המעודדות שהתקבלו באשר להשפעת בקרה של טמפרטורת הקרקע בגידול אדמונית באמצעות מערכת טכנולוגית שבפיתוח, עלה הצורך לבחון את השפעת השיטה על מדדים גידוליים וכלכליים של גידולים נוספים. מטרת העל של המחקר הינה לבחון את כדאיות השימוש של מערכת לבקרת טמפרטורת הקרקע כאמצעי להכוונת הניבה לנישיות שיווקיות של גידולים חקלאיים תוך שיפור המדדים הקובעים את ערכם הכלכלי.

שיטות העבודה. הוקמה מערכת ובה 15 ערוגות מבודדות בהן עוברת צנרת תת קרקעית ובה מסוחררים מים בטמפרטורה רצויה המווסתת באמצעות משאבת חום. המערכת מאפשרת בדיקה של השפעות טמפרטורות המצע במגוון גידולים. בתכנית הנוכחית נבחנה השפעה של בקרת טמפרטורת הקרקע על הקדמת הפריחה של צמחי הידרנג'יה מהזן 'סינדרלה', ניבת קיץ של שני זני תות שדה, שיפור היבול והארכת משך הפריחה בזן כלנית ובזן נורית.

תוצאות עיקריות. המערכת הורידה את טמפרטורת המצע ל - 20 – 22 מ"צ בהשוואה לחלקת הביקורת בה הטמפרטורה הממוצעת הייתה 26 – 27 מ"צ. לא נצפתה השפעה של טמפרטורת המצע על יבול הפרחים ואיכותו ועל גובה הצמחים וגודל העלווה בצמחי הידרנג'יה. צינור מצע הגידול תרם לעליה במספר הפירות ובמשקלם הממוצע לצמחי תות שדה. צמחי כלנית החלו לפרוח כבר ממחצית ספטמבר, ופרחו במשך שבעה וחצי חודשים בהשוואה לשטחים מסחריים בישראל הפורחים במשך ארבעה חודשים בלבד. יבול פרחי הכלנית הגיע ל - 19 פרחים בממוצע לצמח בעוד שבחלקות מצטיינות של מגדלים בישראל מגיעים ל - 12 פרחים לפקעת. לא נצפתה השפעה על צמחי נורית.

מסקנות והמלצות. המערכת כפי שתוכננה ובנתה במו"פ צפון מצליחה להביא את טמפרטורת הקרקע לרמה הרצויה על פי הידע הפיזיולוגי על דרישות הצמח לטמפרטורות קרקע אופטימליות. פריחת הכלנית מושפעת בעיקר מטמפרטורת הקרקע ללא תלות בטמפרטורת האוויר. ניכר שיפור משמעותי ביבול צמחי תות שדה בהשפעת טמפרטורת הקרקע אך, כנראה, יש חשיבות רבה להורדה של טמפרטורת האוויר לצורך הגבה של יבול כלכלי בחודשי הקיץ.

פרסומים והרצאות. ניתנה הרצאה על המערכת לבקרת טמפרטורת קרקע בכנס שהתקיים כחלק מתערוכה חקלאית ארצית שהתקיימה במעין חרוד בנובמבר 2022.

תיאור הבעיה ומטרות המחקר

יצור חקלאי בישראל מחוץ לעונה המקובלת של מוצרים כגון ירקות ופרחים בשווקי היצוא, הינו אחד הישומים הבולטים העושה שימוש בידע פיזיולוגי וטכנולוגי למינוף ענפי חקלאות. ענף הפרחים בישראל, למשל, חווה קפיצה גדולה בשנות השבעים והשמונים כאשר שורה שלמה של מה שמכונה באירופה "פרי קיץ" גודלו בהצלחה רבה בחורף הישראלי. שיווק סדיר ואיכותי הושג בעזרת הטכנולוגיות שמשמשות את גידול הירקות והפרחים "מחוץ לעונה" כגון: גידול במבנים מוגנים ובקרת טמפרטורה ע"י חימום או צינון אוויר החממה, בהתאם לדרישות הפיזיולוגיות של הגידול.

למרות הידע המעמיק שפותח בישראל ובעולם על התפתחות הצמח בגידולים רבים, קיים פער בין הדרישות המיטביות הידועות של הצמח לבין ההצלחה הטכנולוגית והכדאיות הכלכלית הדרושה להשגת תוצאות גידול אופטימליות. כתוצאה מפער זה ישנם גידולים רבים בעלי ערך כלכלי גבוה שהחקלאי הישראלי מתקשה לשווקם "מחוץ לעונה", בשוק המקומי או בשווקי היצוא.

גידול אדמונית לפריחה מחוץ לעונה פותח במינהל המחקר ובמו"פ צפון. הפיתוח המדעי הנרחב הניב הבנה טובה של הדרישות הפיזיולוגיות של הגידול, ובעיקר הדרישה לטמפרטורות קרקע המשתנות בהתאם לפאזה הגידול במחזור השנתי. ההבנה הפיזיולוגית תורגמה לשורה של טכנולוגיות שכוונו להפרחה בסוף החורף ובתחילת האביב (פברואר-אפריל).

אנו מפתחים בתחנת הנסיונות אבני איתן מערכת טכנולוגית חדשנית לטיפול בטמפרטורת הקרקע. המערכת מורכבת ממשאבת חום, בעלת יכולת לחמם או לקרר נוזל, המסוחרר במערכת צינורות סגורה שעוברת סביב ניצני הגידול התת-קרקעיים ובית השורשים, בעומק של כ- 5 – 7 ס"מ. מטרת הפיתוח היא ליצר תנאי גידול שיאפשרו להענות לדרישות הפיזיולוגיות של הצמח בכל שלבי הגידול.

המערכת נבדקה על צמחי אדמונית השתולים בקרקע במסגרת תכנית מדען (כהן וחוב' 2021) והתוצאות בשנים 2018 – 2021 הן מעודדות ביותר:

- א. המערכת מצליחה להשרות בקרקע את משטר הטמפרטורות הרצוי בכל עונות השנה.
 - ב. המערכת מצליחה ליצר פרחי אדמוניות באזורי אקלים גבוליים לגידול באיכויות גבוהות ובנישה שיווקית מעניינת וריווחית.
 - ג. התקבל יבול פרחים גבוה ובאיכות טובה מאוד כבר בשנת הגידול השניה. היבול גדל בכ 10% בשנת היבול השלישית.
 - ד. תגובת צמח האדמונית לטמפרטורה מתרחשת באברים התת-קרקעיים, ללא תלות בטמפרטורת האוויר. מסקנה ביולוגית זו, אם תתברר כתקפה לצמחים נוספים, עשויה להוביל לחיסכון באנרגיה מאחר וניתן יהיה להכווין את ישום הטמפרטורות הרצויות לאזור התת-קרקעי בלבד.
- מהתוצאות המעודדות הללו עלה הצורך לבחון את השפעת השיטה על מדדים גידוליים וכלכליים של גידולים נוספים.

בעבודה המדווחת בזה, נבחנה אופטימיזציה של טמפרטורות קרקע בשיח נשיר המשמש ליצור פרחים יוקרתיים (הידרנג'יה), הנבת תות שדה למאכל בחודשי הקיץ ותחילת הסתיו, וכן בדיקה של שני מינים של גיאופיטים לפריחה (כלנית, נורית). שני מינים אלו מחליפים את צמחי השום והגביעונית לפריחה שהופיעו

בתכנית המקורית כפי שפורט בבקשה לשינוי ובהמלצות להמשך המחקר בדו"ח יוני 2021. לא ניתן להשיג בארץ חומר ריבוי של גביעונית ויש ענין רב של חקלאי ישראל בבקרת מועד הפריחה של כלנית ושל נורית.

מטרות המחקר

מטרת העל של המחקר הינה לבחון את כדאיות השימוש של מערכת לבקרת טמפ' הקרקע כאמצעי להכוונת הניבה לנישיות שיווקיות של גידולים חקלאיים תוך שיפור המדדים הקובעים את ערכם הכלכלי.

מטרות ספציפיות של המחקר:

1. בחינת ההשפעה של בקרת טמפרטורת הקרקע על מועד הפריחה/ההנבה, האיכות והערך הכלכלי של כלנית מצויה לפריחה (*Anemone coronaria*), נורית לפריחה (*Ranunculus*), הידרנג'יה (*Hydrangea macrophylla*) ותות שדה (*Fragaria*).
2. אופטימיזציה של פרוטוקלי יצור של גידולי נישה בעלי ערך כלכלי רב, תוך שימוש במערכת בקרת טמפ' הקרקע.

מהלך המחקר ושיטות העבודה

מערכת לבקרת טמפרטורת קרקע

במהלך המחקר נעשה שימוש בשתי מערכות:

מערכת ותיקה הכוללת 4 ערוגות בממדים של 50*50*600 ס"מ הבנויות מפאנל בידוד בעובי 5 ס"מ. לאורך שלוש הערוגות ובעומק של כ- 5 ס"מ הונחו 4 צינורות לסחרור נוזל המערכת, המרחק בין הצינורות הינו 10 ס"מ. הערוגה הרביעית משמשת כביקורת ללא טיפול בטמפרטורת הקרקע. הצנרת התת קרקעית חוברה למשאבת חום בהספק של 21 ק"ו. לוח החשמל מאפשר שליטה על טמפרטורת נוזל החימום/קרור באופן נפרד לכל אחת מהערוגות.

מערכת חדשה. בשנת 2021 הוקמה המערכת המתוכננת בתחנת הנסיונות אבני איתן ואף הורחבה מעבר לתוכנית המקורית. המערכת כוללת 15 ערוגות בממדים של 30*100*400 ס"מ. כדפנות הערוגות משמשים לוחות של פאנל בידוד בעובי 50 מ"מ ובתחתית כל ערוגה הונחו לוחות של פוליאורטן מוקצף בעובי 50 מ"מ. הערוגות מולאו במצע טוף/כבול/קומפוסט (ביחס 5/35/60 בהתאמה) עד לגובה של 10 ס"מ מתחת לפני הערוגה, לאחר מכן הונחה צנרת להזרמת מי החימום/קרור של המצע ולבסוף מולאה הערוגה עד סופה. הצנרת חוברה למשאבת חום בהספק של 21 ק"ו. חלק מהערוגות שימשו לטיפול חימום/קרור הקרקע וחלקן שימשו כביקורת ללא טיפול תרמי של המצע. (תמונה 1).

תמונה 1.1 15 ערוגות גידול
מבודדות עם חיבור צנרת
למשאבת חום. אבני איתן
2021



טמפרטורות הקרקע והאוויר נאגרו ברציפות אחת ל – 10 דקות באמצעות מערכת שנרכשה מחברת Orion AgriTech ובה 11 סנסורים.

פרוט הגידולים

הידרנג'יה (*Hydrangea macrophylla*). שתילים מהזן 'סינדרלה' שהוכנו בבית השרשה בתחנת אבני איתן נשתלו באפריל 2021 בשלוש ערוגות מבודדות בהן הופעל צינון המצע ובערוגה זאת נוספת בה לא הופעל הצינון ושררו טמפרטורות טבעיות. בכל אחת מהערוגות היו 12 צמחים. טמפרטורת היעד של המצע בערוגות המטופלות היתה 25 מ"צ. בקיץ 2021 בוצע קטיף הפרחים ונאספו פרמטרים של גידול הצמחים ואיכות הפרחים. בנוסף, על רקע טמפרטורות הקרקע השונות בוצע בפברואר 2022 גיזום בשלושה אופנים, כאשר בכל אחד מטיפולי הגיזום מתבססים על מערכות ניצנים שונות כבסיס להתפתחות הפרחים (טבלה 1). בכל אחד מהטיפולים הראשיים – 1, 2, 3 – היו 12 צמחים. בטיפולי הביקורת – 4.1, 4.2, 4.3 – היו 4 צמחים בכל טיפול.

טבלה 1. טיפולי גיזום וטמפרטורת מצע בצמחי הידרנג'יה, אבני איתן, 2022

מס. טיפול	טמפ. מצע	אופן גיזום	מערכת ניצנים מעורבת
1	מצונן	ללא גיזום	קצה הענף, מרכז הענף, ניצני "שורש"
2	מצונן	"חצי גיזום"	מרכז הענף, ניצני "שורש"
3	מצונן	גיזום מלא	ניצני "שורש"
4.1	טבעי	ללא גיזום	קצה הענף, מרכז הענף, ניצני "שורש"
4.2	טבעי	"חצי גיזום"	מרכז הענף, ניצני "שורש"
4.3	טבעי	גיזום מלא	ניצני "שורש"

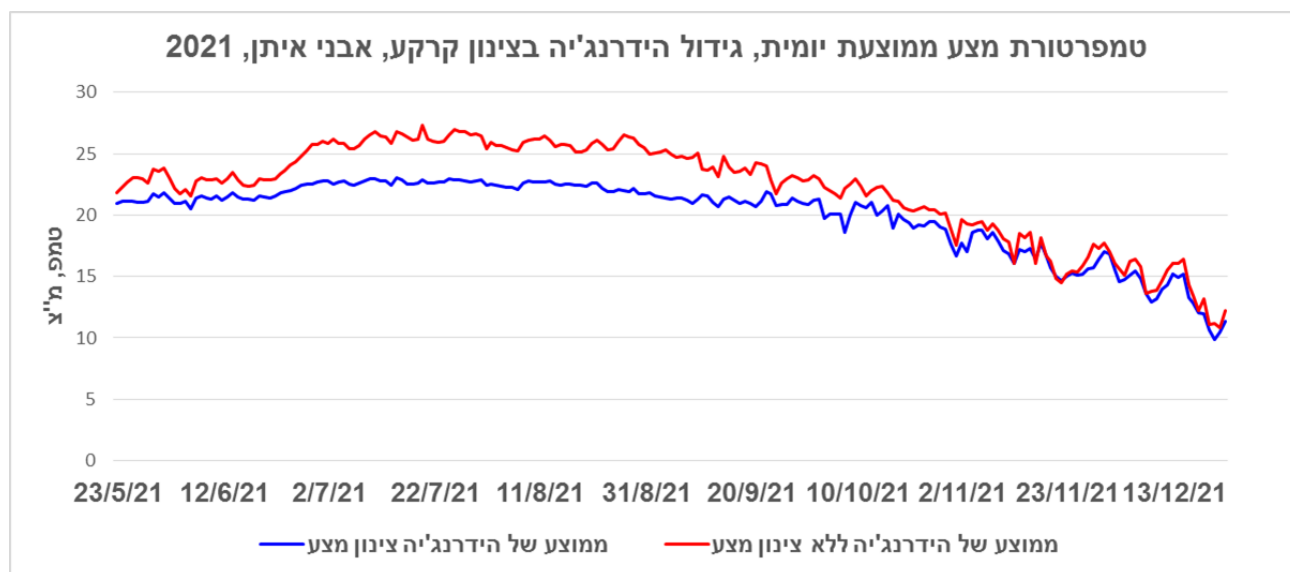
תות שדה (*Fragaria*). בסתיו – חורף 2020 הוכנו שתילי תות בשיטת ה'פריגו' (שתילים מוקפאים) מהזנים 'Elsanta', 'Malling Centenary'. השתילים הועברו להקפאה בתחילת פברואר 2021 ונשתלו בטיפול צינון המצע בתחילת אוגוסט 2021. בסתיו – חורף 2021 הוכנו שתילי תות מהזנים 'Elsanta', 'Malling Centenary' במתכונת דומה. השתילים הועברו להקפאה בתחילת פברואר 2022 ונשתלו בטיפול צינון המצע במחצית מאי ובמחצית יוני 2022. בשתי שנות הניסוי קטיף הפירות נעשה אחת ליומיים – שלושה ותועדו מספר הפירות ומשקלם ורמת כלל המוצקים המסיסים (TSS).

כלנית ונורית. פקעות של כלנית מהזן 'Galil Blue' ונורית מהזן 'Bonbon' לאחר תהליך ההמרצה התקבלו ממשתלת יודפת ונשתלו במערכת צינון הקרקע בשלושה מועדים: 8/8/2021, 5/9/2021 ו- 19/9/2021. מי מערכת בקרת טמפרטורת הקרקע כווננה כך שטמפרטורת מצע הגידול תהיה מתחת ל- 22 מ"צ. נערך מעקב של העליה לפריחה ונקבע מועד הפריחה, משך גל הפריחה, מועד הפריחה ואורך גבעול הפרח.

תוצאות

הידרנג'יה

טמפרטורות מצע. החל מסוף יוני 2021 התחיל להיווצר הפרש משמעותי בין טמפרטורת המצע המצוין לבין טמפרטורת המצע הטבעית, ללא טיפול. (איור 1).



איור 1. טמפרטורות המצע בעומק 5 ס"מ, הידרנג'יה 'סינדרלה', אבני איתן, מאי – דצמבר 2021.

מערכת הצינון הורידה את טמפרטורת המצע הממוצעת בכ- 3 – 4 מ"צ בחודשים יולי ואוגוסט. וגרמה לכך שטמפרטורת המצע המטופל היתה בתחום האופטימלי, מתחת ל- 25 מ"צ.

נתוני פריחה וגידול, 2021

בשנת 2021 הפריחה התרחשה במחצית הראשונה של חודש יוני. נספרו כ- 7 – 11 פרחים לצמח בקוטר של כ- 17.50 – 20 ס"מ. לא נצפו הבדלים מובהקים בין הערוגות המצוננות לערוגה שלא צוננה ובה שררה טמפרטורת מצע טבעית. (טבלה 2).

בסוף דצמבר 2021 נלקחו מדדים פנולוגיים של הצמחים לקראת הכניסה לתרדמה. לא נצפתה השפעה לצינון המצע על גובה הצמחים, אורך העלה ורוחבו (טבלה 3).

נתוני פריחה וגידול, 2022

למעט גל פריחה קטן שהחל בתחילת מאי 2022 בטיפול 1 - טיפול הגיזום הגבוה (טבלה 1) - הפריחה התרחשה בסוף מאי ובתחילת יוני 2022 הן בטיפול הצינון והן בטיפול הביקורת (טבלה 4). איכות הפרחים שהתבטאה באורך גבעול הפריחה ובקוטרו היתה דומה בכל טיפולי הגיזום. לא היתה השפעה מובהקת לצינון

הקרקע על מדדי איכות הפרחים (טבלה 4). לטיפול הגיזום היתה השפעה ניכרת על כמות הפרחים הממוצעת לצמח. צינן הקרקע גרם לפחיתה מסוימת בכמות הפרחים הממוצעת לשיח. טיפול הגיזום הגבוה (טיפול 1) הניב 34 פרחים לצמח בטיפול הצינן ו – 45 פרחים בטיפול הביקורת שגדל בטמפרטורות מצע טבעיות. טיפול הגיזום הבינוני (טיפול 2) הניב פחות ממחצית הפרחים בהשוואה לטיפול הגיזום הגבוה – 14 ו – 19 פרחים בממוצע לצמח בטיפול צינן הקרקע ובטיפול הביקורת בהתאמה. ירידה משמעותית נוספת נמדדה בטיפול 3, טיפול הגיזום הנמוך. בטיפול זה כמות הפרחים הממוצעת לצמח היתה פחות ממחצית בהשוואה לטיפול 2 – טיפול הגיזום הבינוני – וכחמישית ומטה בהשוואה לטיפול 1, טיפול הגיזום הגבוה. בטיפול 3 נספרו כ – 6 ו – 8 פרחים לצמח בטיפול צינן הקרקע ובטיפול הביקורת בהתאמה (טבלה 4).

טבלה 2. מס. פרחים לצמח וקוטר פרח בצמחי הידרנג'יה מהזן 'סינדרלה', אבני איתן, יוני 2021

טיפול	מספר צמחים	מס. פרחים לצמח	קוטר פרח (ס"מ)
ערוגה מצוננת 1	13	7.0±2.77	18.38±2.79
ערוגה מצוננת 2	12	7.0±2.97	20.17±2.34
ערוגה מצוננת 3	10	10.9±3.27	18.00±2.24
ערוגה לא מצוננת 4	12	7.58±2.25	17.50±2.69

טבלה 3. פנולוגיה של צמחי הידרנג'יה מהזן 'סינדרלה', דצמבר 2021

טיפול	גובה צמח	אורך עלה	רוחב עלה
ערוגה מצוננת 1	59.00±7.35	19.91±1.39	17.46±1.08
ערוגה מצוננת 2	64.23±8.13	18.94±1.66	14.78±1.12
ערוגה מצוננת 3	63.42±9.62	20.61±1.70	15.82±1.26
ערוגה לא מצוננת 4	61.08±7.41	20.17±1.17	15.74±0.84

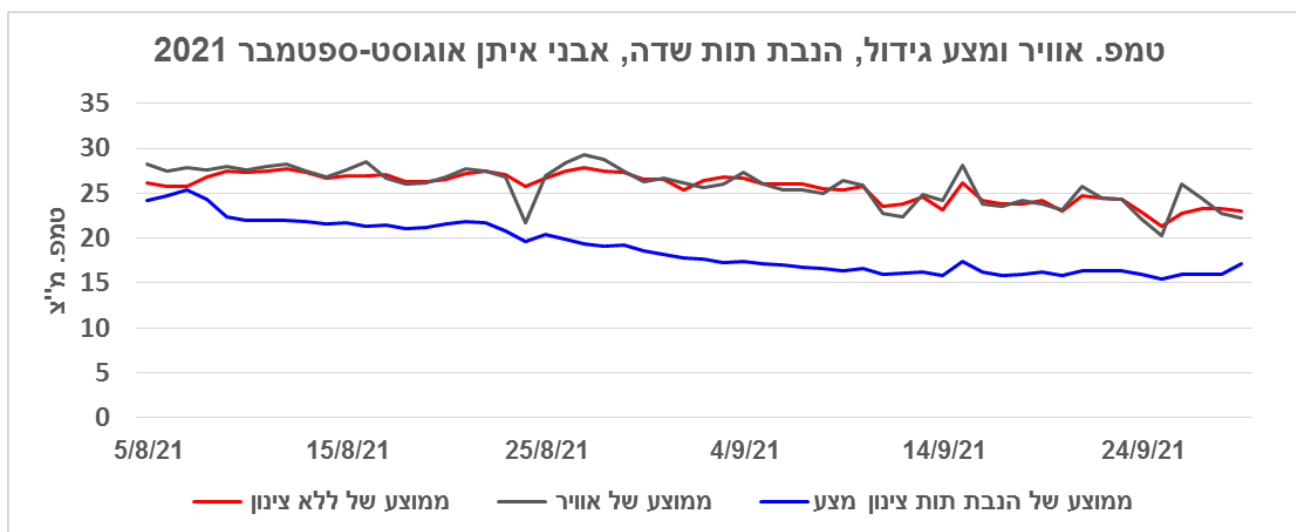
טבלה 4. נתוני פריחה בצמחי הידרנג'יה מהזן 'סינדרלה', אבני איתן, 2022

טיפול 1	טיפול 2	טיפול 3	טיפול 4.1	טיפול 4.2	טיפול 4.3	
49.09±11.23	57.69±11.22	54.74±8.79	48.33±10.93	53.73±10.34	53.81±7.45	אורך פרח
16.92±3.09	20.05±3.34	22.99±3.67	16.80±3.27	20.01±3.91	22.03±4.03	קוטר פרח
33.58	14.42	6.17	44.75	18.50	8.00	מס. פרחים ממוצע לצמח
1/5/2022	29/5/2022	31/5/2022	22/5/2022	27/5/2022	31/5/2022	תחילת קטיף
10/7/2022	10/7/2022	10/7/2022	3/7/2022	10/7/2022	10/7/2022	סוף קטיף

תות שדה

טמפרטורות מצע בניסוי הנבת תות שדה. טמפ' המצע הממוצעת היומית בחלקה שלא צוננה היתה דומה לטמפרטורת האוויר. בחלקו הראשון של הניסוי, בחודש אוגוסט, טמפ' המצע שלא צונן היתה בין 25 ל – 30 מ"צ וירדה לתחום שבין 20 ל – 25 מ"צ בספטמבר 2021.

מערכת צינן הקרקע הורידה את טמפרטורת המצע בחלקה המטופלת ב 5 – 9 מ"צ, לכ – 20 מ"צ באוגוסט ולכ – 16 מ"צ בספטמבר 2021 (איור 2).



איור 2. טמפרטורות אוויר ומצע בעומק 5 ס"מ, ניסוי הנבת תות שדה, אבני איתן, אוגוסט-ספטמבר 2021

הנבת תות שדה, 2021

צינן הקרקע העלה ב – 40% ובאופן מובהק את מספר הפירות הממוצע לשתיל וב – 115%, באופן מובהק ביותר, את משקל הפירות הממוצע לשתיל (טבלה 5). נתון זה מראה כי משקל הפרי הממוצע תחת משטר צינן המצע היה גבוה מאוד ממשקלו ללא צינן המצע. לצינן הקרקע לא היתה השפעה על רמת כלל המסיסים המוצקים (TSS) בפירות וכן על מספר הפירות המופלים לצמח (טבלה 6).

טבלה 5. השפעת צינן הקרקע על הנבת תות שדה משתילת אוגוסט 2021.

מס. פירות ממוצע לשתיל	ללא צינן קרקע	צינן קרקע
4.47±0.56	6.28±0.83	
20.47±2.78	44.05±5.76	
TSS	7.24±1.49	6.23±1.12

טבלה 6. מדדי הנבת פרי של שני זני תות שדה בהשפעת צינן מצע הגידול, אוגוסט 2021

	ללא צינן קרקע		צינן קרקע	
	<i>Malling centenary</i>	<i>Elsanta</i>	<i>Malling centenary</i>	<i>Elsanta</i>
מס. פירות ממוצע לשתיל	4.11±0.53	4.83±0.59	4.61±0.50	7.94±1.00
משקל פירות ממוצע לשתיל (גרם)	15.29±1.66	25.64±3.33	31.31±3.54	56.79±6.80
TSS	6.93±1.26	7.50±1.61	6.93±0.83	5.53±0.92
מס. פירות מופלים לשתיל	6.61±0.89	5.23±1.11	5.78±0.06	6.06±0.47

בחינה של השפעת המערכת ברמת הזן מראה כי ההשפעה על הזן '*Malling centenary*' היתה בולטת יותר בהשוואה לזן '*Elsanta*'. למערכת לא היתה כל השפעה על מספר הפירות הממוצע לשתיל בזן '*Elsanta*' שעמד

על כ – 4 פירות לשתיל בשני משטרי צינור הקרקע, בעוד שבזן 'Malling centenary' עלה באופן מובהק מספר הפירות הממוצע לשתיל מ – 4.83 ל – 7.94 בהשפעת המערכת (טבלה 6).
המערכת העלתה באופן מובהק את משקל הפרי הממוצע לשתיל בשני הזנים. בזן 'Elsanta' מכ – 15 ל – 25 ובזן 'Malling centenary' מ – 25 לכמעט 57 גרם לשתיל (טבלה 6).

הנבת תות שדה, 2022

נתוני יבול הפרי מופיעים בטבלה 7. בטיפול קרור הקרקע בשני מועדי השתילה התקבל יבול דומה, כ – 50 – 60 גרם לצמח. במועד השתילה הראשון היבול בחלקת הטמפרטורה הטבעית היה דומה לחלקת הקרור אך במועד השתילה השני יבול הפרי בחלקת הטמפרטורה הטבעית כבר ירד בכ – 50% ועמד על כ – 25 – 35 גרם לצמח.
רמות ה – TSS נמוכות לאורך כל הניסוי.

טבלה 7. השפעת מועד השתילה, זן וטמפרטורת מצע הגידול על נתוני יבול תות שדה. אבני איתן, 2022

מועד שתילה	זן	טמפ. מצע	משקל פרי ממוצע (גרם)	משקל פירות לשתיל (גרם)	מספר פירות לשתיל	ממוצע של TSS
18/5/22	'Elsanta'	טבעי	8.78±2.57	55.19±6.49	6.66	2.99±0.67
		קרור	8.80±2.51	50.80±6.13	6.16	3.08±0.87
	'Malling Centenary'	טבעי	10.31±4.43	56.84±7.16	5.56	3.84±1.46
		קרור	10.89±2.83	53.47±6.83	5.19	3.11±0.54
21/6/22	'Elsanta'	טבעי	6.77±1.74	23.67±1.40	3.44	3.49±1.20
		קרור	6.92±1.36	58.09±2.95	8.22	2.24±0.81
	'Malling Centenary'	טבעי	5.96±1.37	37.22±2.76	5.78	2.80±0.86
		קרור	7.90±1.58	63.33±3.04	7.69	2.39±1.01

כלנית ונורית

טמפרטורות מצע בניסוי בקרת מועד הפריחה של כלניות ונוריות

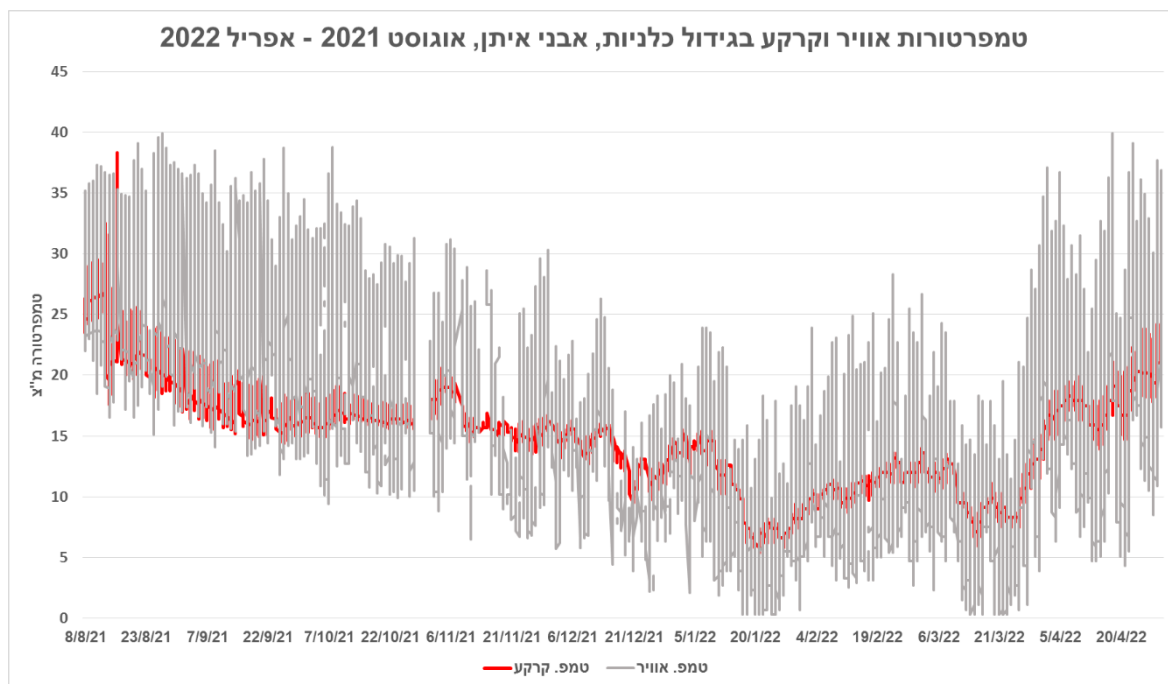
המערכת כווננה לשמירת טמפרטורת קרקע בחלקה המצוננת מתחת ל – 22 מ"צ. אכן, כשבועיים לאחר השתילה הצלחנו ליצב את טמפרטורת הקרקע בחלקה המצוננת כך שלא תעלה מעל טמפרטורת היעד. טמפרטורות הקרקע הלא מטופלת טיפסו באוגוסט לטווח שבין 25 ל – 30 מ"צ (נתונים לא מוצגים) וטמפרטורת האוויר המקסימליות הגיעו ל – 35 ואף ל – 40 מ"צ. (איור 3).

הנבת כלניות ונוריות

קטיף הכלניות ממועד השתילה הראשון, 8/8/2021, החל ב – 13/9/2021, 36 יום לאחר השתילה. משך הזמן מהשתילה לתחילת הקטיף התארך במועד השתילה השני בששה ימים והחל ב – 17/10/2021. הקטיף במועד השתילה השלישי, 19/9/2021 החל רק לקראת סוף נובמבר 2021, לאחר 65 ימים מהשתילה (טבלה 8). ממועד השתילה הראשון והשני נקטפו כ – 19 פרחים בממוצע לפקעת, בעוד שממועד השתילה השלישי נקטפו כ – 12 פרחים בלבד. איכות הפרחים, המתבטאת באורך הגבעול היתה נמוכה במקצת – פחות מ –

40 ס"מ - בשולי תקופת הקטיפה. החל ממחצית נובמבר 2021 ועד לסוף מרץ 2022 איכות הפרחים היתה טובה, מעל 40 ס"מ בממוצע (איור 3). כ – 2/3 מיבול הפרחים ממועד השתילה הראשון והשני היו באיכות טובה, בעוד שממועד השתילה השני רק 45% מהפרחים היו באורך של מעל 40 ס"מ (טבלה 8). הקטיפה בכל הטיפולים הסתיים לקראת סוף אפריל 2022, כך שמשך הקטיפה היה 7.5, 6 ו – 5 חודשים במועד השתילה הראשון השני והשלישי בהתאמה (טבלה 8).

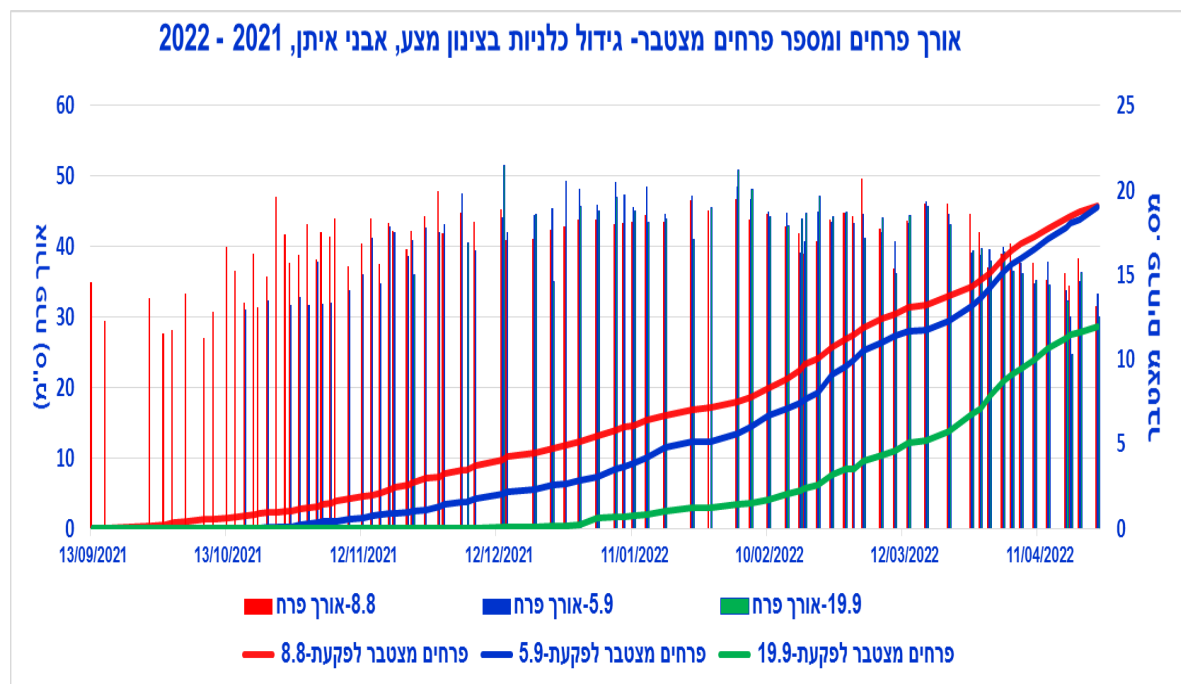
התמונה באשר לנוריות היתה שונה. שיעור ההצצה היה נמוך בכל מועדי השתילה ולאחר ההצצה החלקה סבלה מתמותת צמחים כך שבפועל נקטפו פרחים מצמחים בודדים. יבול הפרחים היה נמוך ולא משמעותי.



איור 3. טמפרטורות אוויר ומצע בעומק 5 ס"מ, לאורך כל תקופת ניסוי בקרת מועד פריחה בכלנית ונורית, אבני איתן, אוגוסט 2021 – אפריל 2022

טבלה 8. ריכוז נתוני קטיפה כלניות בצינור קרקע, אבני איתן, אוגוסט 2021 – אפריל 2022

פרמטר/טיפול	שתילה 8/8/21	שתילה 5/9/21	שתילה 19/9/21
תחילת פריחה	13/9/2021	17/10/2021	23/11/2021
ימים מהשתילה לתחילת הפריחה	36	42	65
סוף הפריחה	24/4/2022	24/4/2022	24/4/2022
מס. ימי הנבה	223	189	152
מס. פרחים מצטבר לפקעת	19.11	19.03	11.94
אורך פרח ממוצע	41.37	41.51	39.83
מס. פרחים מצטבר לפקעת מעל 40 ס"מ	13.05	12.55	5.39
שיעור פרחים מעל 40 ס"מ	68.32%	65/93%	45.15%



איור 3. אורך פרח ומספר פרחים מצטבר, בקרת מועד פריחה בכלנית ונורית, אבני איתן, אוגוסט 2021 – אפריל 2022

דין

לטמפרטורת בית השורשים יש השפעה על שלבי צימוח וגידול שונים בצמחים רבים כגון דלעת הנחש, אשרושי גזר, חסה ומלפפון. (Adebooye et al., 2010; Malik et al., 2013; Yan et al., 2013; Sakamoto & Suzuki, 2015a, 2015b). ברוב העבודות המדווחות בקרת טמפרטורת בית השורשים נעשית באמצעות שליטה על טמפרטורת המים בגידולי ההידרופוניקה. כך נמצא כי ביומסה של צמחי תות שדה מקבוצת (JB) June Bearers שנחשפו לטמפרטורה של 10 מ"צ במערכת ההידרופונית היתה גבוהה יותר מצמחים שנחשפו ל 20 מ"צ בבית השורשים. גם החלקים הרפרודוקטיביים (תפרחות ופירות) של תות שדה היו גדולים יותר בהשפעת צינון בית השורשים ל – 10 מ"צ אך לא נמצאה השפעה על תכולת הסוכר והחומצה האסקורבית בפירות. (Sakamoto et al., 2016)

מלבד ההשפעה על ביומסה בקרת טמפרטורת בית השורשים עשויה להשפיע באמצעות מנגנונים פיזיולוגיים נוספים:

השלמת הדרישה למנות קור. עצי פרי וגיאופיטים רבים נכנסים לתרדמה המלווה בנשירת עלווה כחלק ממחזור חייהם ויש על כך אין ספור איזכורים בספרות. צמחי גיאופיטים שרויים בתרדמה כאשר החלק העל קרקעי בהם התייבש ורק האבר התת קרקעי נשאר חיוני. במצב זה השפעה על טמפרטורת הקרקע תשפיע ישירות על צבירת מנות הקור הדרושה להתעוררות תקינה. הבנת המנגנון הזה ופיתוח מודל לצבירת קור באדמונית מאפשר להשתמש בהצלחה רבה במערכת לצינון טמפרטורת הקרקע על מנת להקדים את שלב צבירת הקור וכתוצאה מכך לקבל פריחה מוקדמת, כפי שנעשה בעבודות קודמות שלנו (Cohen et al, 2016), כהן וחוב' 2015, 2021).

דינמיקה של עמילן בצמח. התפרסם מודל המציע כי גרדיאנט טמפרטורה בין השורש לנוף תורם למעבר סוכרים בעצים. בסתיו ובאביב טמפרטורת הקרקע משתנה בהפרש פאזה מהסביבה ונוצר הפרש תרמי אשר

מוביל להפרשי ריכוזים וזרימת מסה בין השורש לנוף. כך, בסתיו השורש חם מהנוף והסוכרים נעים מטה ואילו באביב הנוף חם מהשורש והסוכרים נעים מעלה (Sperling, 2017; Zwieniecki, 2015). בעבודה שהחלה להתבצע בחודשים האחרונים במו"פ צפון נבחנות מניפולציות בטמפרטורת בית השורשים על מנת ליצר גרדינט טמפרטורה בין השורש לנוף במטרה להכווין את תנועת הסוכרים אל הפקע המתפתח ובכך להקדים את הניבה של עצי דובדבן.

התמיינות לפריחה. לטמפרטורת בית השורשים יש השפעה על ההתמיינות לפריחה של צמחי גיאופיטים. לדוגמה, דווח כי שיעור הפריחה הגבוה ביותר בצמחי אלסטרומריה התרחש כאשר טמפרטורת בית השורשים היתה 15 מ"צ. (Heins & Wilkins, 1979).

לעיתים נדרשת סדרה של טמפרטורות קרקע על מנת להכין את הפקעת לפריחה. דווח כי שיעור הפריחה עלה מ – 7.3 ל – 19 פרחים בצמחי אאוכריס כאשר הקרקע צוננה ל 15 מ"צ למשך 10 ימים ולאחר מכן חוממה ל – 30 מ"צ בהשוואה לחימום בית השורשים ל – 15 מ"צ בלבד. (Kawamura, 1999).

בצמחי כלנית נמצא כי יש שיפור משמעותי בשיעור הפריחה כאשר טמפרטורת בית השורשים מוחזקת מתחת ל – 20 מ"צ. (Dagan, 2022). צמחי כלנית מייצרים פרחים במשך 8 חודשים רצופים בניו זילנד באזור בו טמפרטורת הקרקע הינה סביב 20 מ"צ (גל לוי, מנהל משתלת יודפת הגלילית, ידע אישי).

העבודה המדווחת בזה הינה חלק ממאמץ שמתבצע במו"פ צפון לשימוש בטכנולוגיה של בקרת טמפרטורת בית השורשים לטובת יצור ריווחי של מוצרים חקלאים מחוץ לעונה.

בדומה לממצאים שהתבצעו במערכת הידרופוניות (Sakamoto et al., 2016) גם אנחנו מצאנו שיפור ביבול תות שדה כתוצאה מצינון החלקים התת קרקעיים של הצמח בשתי שנות הניסוי (טבלה 6, 7). בשנת 2022 השיפור התרחש בעיקר בשתילה המאוחרת, שתילת סוף יוני. במועד שתילה זה שלב גידול הפירות התרחש כאשר טמפרטורת הקרקע הטבעית היתה גבוהה ועל כן לצינון הקרקע היתה השפעה ניכרת. גם בעבודתנו לא מצאנו שיפור ברמות כלל המוצקים המסיסים (TSS) המייצגים את רמת הסוכרים בפרי.

אמנם ניכר שיפור במשקל הכולל לשיח של פירות תות שדה בהשפעת צינון מצע הגידול, אך רמת היבול ואיכותו עדיין רחוקה מלהיות כלכלית. שלב הנבט הפרי בעבודתנו התרחש בחודשי הקיץ ואכן דווח כי יש השפעה שלילית לטמפרטורת אוויר גבוהה על יבול הפירות ורמת הסוכר (Wang, & Camp 2000).

מצאנו כי שמירת טמפרטורת הקרקע מתחת ל – 22 מ"צ הביאה לפריחה של צמחי כלנית במשך שבעה וחצי חודשים שהניבו כ – 19 פרחים לצמח (טבלה 8) בעוד שבגידול כלנית מסחרי בארץ מצליחים להגיע לכל היותר ל – 12 פרחים לצמח הנקטפים הנמשך 4 חודשי החורף בלבד. יש לציין שפריחת הכלנית נמשכה גם כאשר טמפרטורת האוויר הגיעה לעיתים ל – 40 מ"צ (איור 3) בעוד שטמפרטורת הקרקע נשמרה, כאמור, מתחת ל – 22 מ"צ. עובדה זו מעידה שלצורך בקרת הפריחה של כלניות ניתן להסתפק לחסוך באנרגיה ולהסתפק בשמירה על טמפרטורת הקרקע בלבד.

צמחי נורית לא הושפעו מצינון הקרקע עובדה המדגישה כי יש צורך לבחון כל צמח לגופו לפני שנכנסים להחלטות על השקעה בהקף מסחרי.

החלטנו לצרף לניסוי את צמח ההידרנג'יה, שהינו שיח דורש קור ואיננו גיאופיט, במטרה לבחון את השפעת צינון הקרקע גם על טיפוס כזה. לא נמצאה השפעה לצינון הקרקע על פרמטרים פנולוגיים ועל יבול הפרחים וקוטרם (טבלה 2, 3, 4). כפי שצוין, ניתן למצוא דיווחים בספרות על השפעות של שינוי בטמפרטורת בית

השורשים על צמחים שאינם גיאופיטים כגון חסה ומלפפון. יתכן שחוסר התגובה של צמח ההידרנג'יה לצינון הקרקע נעוצה בכך שהינו שיח מעוצה רב שנתי.

המערכת בה אנו עושים שימוש מבוססת על חימום או קרור הקרקע באמצעות סחרור מים בטמפרטורה רצויה דרך צנרת יעודית המפוזרת באזור בית השורשים. בשיטה זו הצמחים גדלים במצע גידול ובכך יש הקטנה משמעותית לסיכון של תמותת צמחים כאשר יש תקלה בהספקת החשמל או המים בהשוואה למערכות ההידרופוניות.

המערכת שנבדקה הצליחה להעניק לבית השורשים את טמפרטורות האופטימום השונות בהתאם לגידולים שנבחנו (איור 1, 2, 3). מימצא זה יאפשר בעתיד לתכנן ולבנות מערכות כאלו למיגוון גידולים ולדרישות טמפרטורה שונות ברמת ביטחון גבוהה.

לסיכום, בשניים מתוך ארבעת הגידולים שנבחנו בתכנית (תות שדה וכלנית) נצפתה השפעה חיובית של המערכת לבקרת טמפרטורת הקרקע. לשניים אלו יש להוסיף את צמח האדמונית בו הוכחנו הצלחה מרשימה בשלוש שנות יבול עוקבות (כהן וחוב' 2021). נראה שניתן לחשוב על פיתוח מסחרי בעל פוטנציאל כלכלי חיובי ביותר של יצור מוצרים מבוססי בקרת טמפרטורת בית השורשים. במקביל יש להמשיך ולבחון גידולים נוספים שיתאימו למערכת הטכנולוגית הזו.

ספרות מצוטטת

כהן מ., טנאי י., כהן ש., קמינצקי ר. (2015). פיתוח מודל דינמי ואמצעים טכנולוגיים למילוי דרישות הצינון והקדמת הפריחה באדמונית השתולה בקרקע כמודל לגיאופיטים נוספים. אתר המדען הראשי משרד החקלאות

כהן מ., ארבל א., קמינצקי ר. (2021). פיתוח מערכת טכנולוגית חדישה ליצור מוצרי חקלאות לשיווק מחוץ לעונה. אתר המדען הראשי משרד החקלאות

Adebooye, O. C., Schmitz-Eiberger, M., Lankes, C., & Noga, G. J. (2010). Inhibitory effects of sub-optimal root zone temperature on leaf bioactive components, photosystem II (PS II) and minerals uptake in *Trichosanthes cucumerina* L. *Cucurbitaceae*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 67-73. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-009-0379-z>

Cohen, M., Eitan, R., Din, G. Y., & Kamenetsky, R. (2016, June). Effect of constant and alternating temperature regimes on post-dormancy development of herbaceous peony. In *XII International Symposium on Flower Bulbs and Herbaceous Perennials 1171* (pp. 89-98).

Dagan U. (2022). Windflowers (*Anemone coronaria*) Roots Zone Cooling Case Study. <https://rootssat.com/wp-content/uploads/2022/08>

Heins, R. D., & Wilkins, H. F. (1979). Effect of soil temperature and photoperiod on vegetative and reproductive growth of *Alstroemeria* 'Regina'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 104(3), 359-365.

Kawamura, H., Sugimoto, T., Imanishi, H., & Doi, M. (1999). Soil-chilling followed by soil-heating promotes continual flowering of *Eucharis grandiflora* planch. In *IV International Symposium on New Floricultural Crops 541* (pp. 331-333).

Sakamoto, M., & Suzuki, T. (2015a). Elevated root-zone temperature modulates growth and quality of hydroponically grown carrots. *Agricultural Sciences*, 6, 749-757. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.68072>

- Sakamoto, M., & Suzuki, T. (2015b). Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Red Wave). *American Journal of Plant Sciences*, 6, 2350-2360. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.614238>
- Sakamoto, M., Uenishi, M., Miyamoto, K., & Suzuki, T. (2016). Effect of root-zone temperature on the growth and fruit quality of hydroponically grown strawberry plants. *Journal of Agricultural Science*, 8(5), 122-131.
- Sperling, O., Silva, L. C. R., Tixier, A., Th  roux-rancourt, G. & Maciej, A. Temperature gradients assist carbohydrate allocation within trees. *Sci. Rep.* 1–10 (2017). doi:10.1038/s41598-017-03608-w
- Wang, S. Y., & Camp, M. J. (2000). Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of stawberry. *Scientia Horticulturae*, 85, 183-199. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00143-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00143-0)
- Yan, Q., Duan, Z., Mao, J., Xun, L., & Fei, D. (2013). Low root zone temperature limits nutrient effects on cucumber seedling growth and induces adversity physiological response. *Journal of Integrative Agriculture*, 12, 1450-1460. [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60549-3](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60549-3)
- Zwieniecki, M. a., Tixier, a. & Sperling, O. Temperature-assisted redistribution of carbohydrates in trees. *Am. J. Bot.* 102, 1216–1218 (2015).

סיכום שאלות מנחות:

-ההתקדמות במחקר שחלה ממועד כתיבת הדו"ח האחרון (כולל דו"ח חצי שנתי)

בשלוש שנות הניסוי נמצא כי המערכת הטכנולוגית של בקרת טמפרטורת הקרקע כפי שתוכננה ובנתה במו"פ צפון מצליחה להביא את טמפרטורת הקרקע לרמה הרצויה על פי הידע הפיזיולוגי על דרישות הצמח לטמפרטורות קרקע אופטימליות.

נמצא כי למערכת הטכנולוגית של בקרת טמפרטורת הקרקע יש השפעה חיובית בשניים מתוך ארבעת הגידולים שנבחנו. מספר פרחי הכלנית הממוצע לפקעת עלה בכ – 60% בהשוואה למקובל בשטחי חקלאים מצטיינים ויבול פירות תות שדה עלה בכ – 115% כתוצאה מצינון החלקים התת-קרקעיים של הצמחים. למערכת צינון הקרקע לא היתה השפעה על יבול פרחי נורית ועל פרמטרים פנולוגים ושיעורי פריחה של צמחי הדרנג'יה.

-פעילויות שנעשו במו"פ במהלך תקופה (סיורים, ביקורים, הרצאות, כינוסים, פיתוחים חדשים וכו')

התקיים סיור בו השתתפו עשרות מחקלאי הגולן ובו התרשמו מההשפעה החיובית ביותר של מערכת בקרת טמפרטורת הקרקע על אדמונית וכן נחשפו למערכת החדשה אותה הקמנו.

ניתנה הרצאה על המערכת לבקרת טמפרטורת קרקע בכנס שהתקיים כחלק מתערוכה חקלאית ארצית שהתקיימה במעין חרוד בנובמבר 2022.

חקלאים רבים נחשפו למערכת בביקורים אישיים בתחנת הנסיונות באבני איתן.

- פרסומים

אין פרסומים.

-המלצות להמשך המחקר או שינוי במחקר

בעבודה המדווחת בזה נמצא כי היתה השפעה חיובית למערכת על שנים מתוך ארבעת הגידולים שנבחנו. עובדה זו מדגישה כי יש צורך לבחון כל צמח לגופו לפני שנכנסים להחלטות על השקעה בהקף מסחרי. ולכן המלצתנו היא להמשיך ולבחון גידולים נוספים בהם עשויה להיות תמורה כלכלית חיובית לבקרת טמפרטורת הקרקע. ניתן לעשות שימוש בתשתיות שהוקמו לצורך התכנית הנוכחית ובכך למצות את ההשקעה שכבר התבצעה.