

מפעלי רמת הנגב בע"מ

ד.ג. חלוצה 8551500

טל: 08-6557919 | פקס: 08-6557492

agr_exp@mop-rng.org.il



השפעת צינון התנדפותי על שיפור יבול ואיכות עגבניות בגידול קיצי ברמת הנגב

צוות החוקרים: רוני מקלין, יובל קיי, שבתאי כהן, שלי גנץ, חגי יסעור, מורן סגולי, עופר גיא,

אביב דומברובסקי

מועד התכנית: התחלה- 2023. סיום- 2025

תקציר

במחקר זה בחנו את השפעת צינון התנדפותי על גידול עגבניות בקיץ ברמת הנגב, אזור המאופיין בטמפרטורות גבוהות ביום, טמפ' נמוכות בלילה ולחות נמוכה. במסגרת הניסוי, נעשה שימוש במערכת צינון מבוססת מערפלים בלחץ קו שנועדה לשפר את תנאי האקלים בחממה ולהוריד את טמפרטורת העלווה. מתוצאות המחקר עולה כי הצינון הפחית את טמפרטורת העלה באופן מובהק, בעיקר בשעות עומס החום, שיפר מדדים פיזיולוגיים של הצמח, תוך הפחתת סימני עקת חום ונגיעות באקריות. ההשפעה הייתה בולטת יותר בזן איקרום בהשוואה ללובלו. עם זאת, לא נמצא הבדל מובהק בכמות היבול הכוללת, אם כי נצפתה מגמה לשיפור באיכות הפרי וביבול בחודשי סוף העונה. ממצאים אלו מצביעים על כך שצינון התנדפותי עשוי להוות כלי יעיל לשיפור תנאי הגידול בעגבנייה בקיץ, במיוחד כאשר משטר ההפעלה מותאם לשעות עומס החום ולמאפייני הזן. ההשלכות הכלכליות והחקלאיות הפוטנציאליות של מחקר זה עשויות לשפר את איכות היבול ואף לאפשר אספקה רציפה של עגבניות במיוחד בתקופות מחסור בתקופת תחילת הסתיו, לקראת חגי תשרי.

רקע ותיאור הבעיה

גידול עגבניות ובעיקר עגבניות צ'רי הן ענף החקלאות המרכזי באזור פיתחת ניצנה שברמת הנגב. שטחי הגידול משתרעים על למעלה מ-3500 דונם בתי צמיחה מחופים רשת או פלסטיק. בתי הצמיחה הינם מבנים פסיביים ללא אמצעים לשליטה באקלים המבנה, דבר שלא מאפשר את הורדת הטמפרטורה הגבוהה בקיץ לשם שמירה על כמות ואיכות היבול. בנוסף, שינויי האקלים בשנים האחרונות גורמים לעליה בטמפרטורות הקיץ הממוצעות דבר המשפיע באופן שלילי על כמות ואיכות יבול העגבניות בישראל. הפחיתה ביבול העגבנייה, בעיקר בסוף הקיץ

לקראת חגי תשרי, גורמת לעליית מחירים בשווקים המקומיים ואף משפיעה על מדד המחירים לצרכן. כמו כן, מחסור זה מהווה זרז להרחבת היבוא מהמדינות השכנות ובכך לפגיעה בחקלאים ובעיקר בצרכנים המקבלים מוצר באיכות נמוכה שלא גודל תחת פיקוח בתקן הישראלי המחמיר. שמירה על הרווחיות של ענף גידול זה תלויה ביכולתם של החקלאים לגדל את מוצרי עגבנייה באיכות וטעם טובים ולשווקם לאורך כל השנה בכמות מספקת. למרות זאת, בתקופת הקיץ יש פחיתה של עשרות אחוזים ביבול העגבניות הממוצע ליחידת שטח הנובעת ממספר גורמים ביוטיים ואביוטיים:

- א- טמפרטורות יום ולילה גבוהות בתקופת הקיץ המונעות התפתחות תקינה של הפרח וכתוצאה מכך חנטה לא תקינה ואבדן יבול.
- ב- הופעתו של וירוס הגורם להחלשת הצמח ופגיעה בצימוח, התופעה באה לידי ביטוי בעיקר על רקע של טמפרטורות גבוהות במבנה הגידול וגורמת להתנוונות הצמח וסיום ההנבה לפני מיצוי פוטנציאל היבול. כמו כן, הפרי המתקבל מתאפיין באיכות ירודה ומשקלו קטן יותר.
- ג- צמח מוחלש על רקע של טמפרטורות גבוהות מקנה יתרון לפטריות צוואר השורש ולמחלות שוכנות קרקע, כך שבנוסף לפחיתה ביבול עקב נגיעות בוירוס אנו מקבלים התמוטטות של צמחים בחלקה ולעיתים אף השמדה כללית של כל השדה.

ברמת נגב שוררים תנאי אקלים מיוחדים המתאפיינים בטמפרטורות גבוהות ולחות נמוכה במהלך היום בעונה החמה ובטמפרטורות נוחות ואף קרירות יחסית בשעות הלילה. אקלים זה בתוספת של אמצעים טכנולוגיים פשוטים כמו צינון התנדפותי במבנים ושימוש במערכת של מצעים מנותקים, שימנעו מחלות צוואר שורש, יכולים לשפר מאוד את גידול העגבניות בקיץ, ובכך לתת מענה למחסור הקיים בעיקר בחודשי תשרי. באמצעות מחקר זה אנו מקווים לשפר את רמת היבול ואיכות הפרי בבתי צמיחה ברמת הנגב במהלך עונת הקיץ וכך לאפשר ייצור שיווק אחיד לאורך כל השנה.

מטרת המחקר וחשיבותו

המטרה העיקרית של המחקר הינה לבחון את השפעת צינון התנדפותי, באמצעות טכנולוגית מערפלים בלחץ קו על היבול ואיכות הפרי בגידול עגבניות בקיץ ברמת נגב. יעדי המשנה:

1. בחינה של השפעת צינון התנדפותי על תנאי האקלים בחממות ברמת הנגב.
2. בחינה של השפעת צינון התנדפותי על ההדבקה בנגיף ToBRFV ובפתוגנים משניים נוספים.
3. בחינה של השפעת צינון התנדפותי על התפתחות תקינה של אברי הפרח (אבקנים ושחלות), חיוניות גרגרי האבקה, החנטה והתפתחות הפרי.

4. מציאת פתרון יישומי מהיר למיתון הביטוי של פגיעת הנגיף ToBRFV בגידול עגבניות צ'רי ברמת הנגב.
5. פתרון יישומי פשוט יחסית לבעיות הנגזרות מעומסי החום בגידול עגבניות צ'רי ברמת הנגב בקיץ.
6. שיפור של היבול והאיכות של זני עגבניות צ'רי בבתי רשת ברמת הנגב במהלך עונת הקיץ, במיוחד לקראת חגי תשרי.

שיטות וחומרים:

בניסוי במו"פ, בתאריך 02/06/2025 נשתלו צמחי עגבניית צ'רי מפוצלים מזן 'לובלו' של חברת 'כצט' ועגבניה גדולה מזן 'איקרם' של חברת 'סינג'נטה'. שני הזנים הורכבו על הכנה 5RS של חברת 'הזרע'. הצמחים נשתלו בבית רשת מחופה ברשת 50 מש, בקרקע חולית מועשרת בקומפוסט בשיעור של 4 קוב"ד' ומחוטאת במתאם סודיום (אדיגן) ונימיץ במינונים המומלצים ע"י היצרן. בניסוי נערך בשתי חלקות בגודל 0.5 דונם כל אחת; חלקת ביקורת - בה לא הותקנה המערכת צינן וחלקה בה הותקנה מערכת צינן התנדפותי בלחץ קו. השתילה של כל הצמחים בבית רשת זה התבצעה בעומד של 2200 צמחים/דונם.

מערכת הצינן

הותקנו מערפלים מסוג coolnet5.5 של חברת נטפים בהצבה של 2X3; מערפל כל 3 מטר (10 מערפלים בשורה של 28 מטר) ומרחק של 2 מטר בין ערוגה לערוגה. סה"כ בכל גמלון 20 יחידות ערפול.

קביעת פרוטוקול למשטר בערפול:

בכדי לבחון את מצב הצמח וכן כדי לקבוע פרוטוקול למשטר ערפול יעיל הצבנו מערכת חיישנים ובקרה של חברת Seymour (נספח 1).

על מנת לקבוע את משטר הערפול הוצבו התנאים הבאים:

1. תדירות הפולס: מרווח בין הפולסים המאפשר לעלה להתייבש על מנת למנוע מצב של מים עומדים אשר עלול לעודד התפתחות מחלות.
 2. משך הפולס: משך פולס ארוך מספיק בכדי שטיפות המים יגיעו לעלה וטמפ' העלה תרד (ביחס לעלים של קבוצת הביקורת).
 3. תנאי הסף להפעלת המערכת: הפעלה כאשר טמפ' העלה 25 מעלות ומעלה.
- *יש לציין שתנאים אלו משתנים על פי תנאי האקלים, הגובה והמצב ההתפתחותי של הצמח.

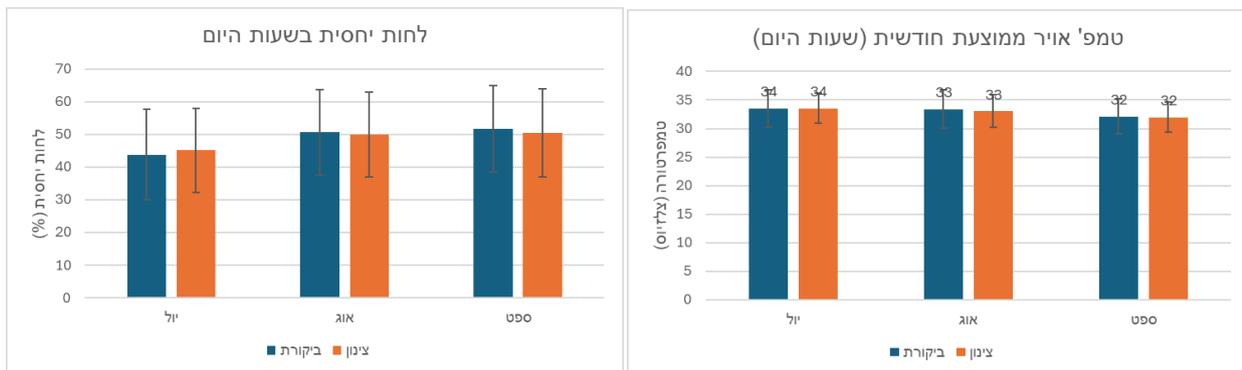
קטיף ומיון

הקטיף החל בתאריך 30/07/2025. בתום כל קטיף הפרי מוין ונשקל לפי הקטגוריות: 1. פרי באיכות סוג א' 2. פרי סוג ב': פירות בודדים, פירות ירוקים, פירות סדוקים ופירות עם שחור פיטם. פירות באיכות סוג א' נדגמו אחת לשבועיים לבדיקות חיי מדף. על מנת לדמות תנאי משלוח לשוק הסיטונאי הפירות שהו כ- 24 שעות בחדר ממוזג ל- 25 מ"צ ושלושה נוספים בטמפרטורת חוץ בסככה מוצלת. לאחר הדמיית תנאי המשלוח נבדקו מדדי איכות הפרי: אחוזי נפלים, פירות מפוצצים, פירות רקובים והערכת מראה כללי (1-5). בנוסף לבדיקת איכות הפיזיולוגית נערכו אנליזות כימיות לצורך אפיון מרכיבי הטעם בפרי. הבדיקות כללו הכנת מיצוי מהעגבניות ע"י בלנדר וצנטריפוגה ובדיקת TSS (%) באמצעות רפרקטומטר, וחומצה מטוטרת TA ע"י טיטרציה עם NaOH 0.05N.

תוצאות ודין:

תנאי אקלים בבית רשת

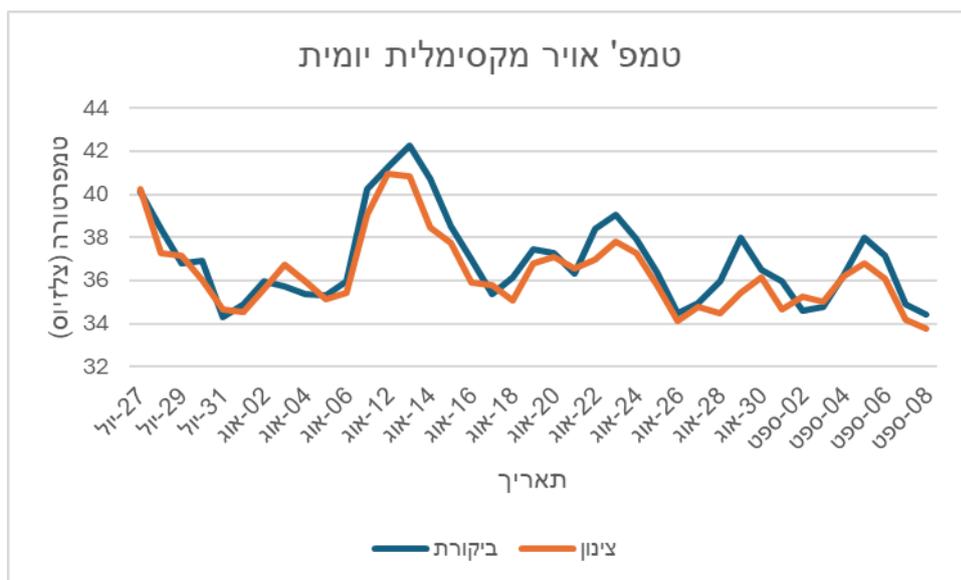
על מנת למדוד את תנאי הלחות והטמפ' באויר הוצבו חיישני אקלים של חברת 'סימור' במרכז כל אחד מהטיפולים.



איור 1: טמפ' אויר ממוצעת ולחות יחסית ממוצעת בשעות היום (8:00-18:00) בביקורת (כחול) ובצינן (אדום).

מאיור 1 עולה כי אין הבדלים משמעותיים בין הביקורת לצינן בטמפ' האויר הממוצעת והלחות היחסית הממוצעת בשעות היום.

עם זאת, כאשר בוחנים את טמפ' האויר המקסימלית היומית ניתן לראות כי לאורך רוב ימי הגידול, הצינן הצליח להוריד את הטמפ' המקסימלית באויר בכ-3-1 מעלות (איור 2).

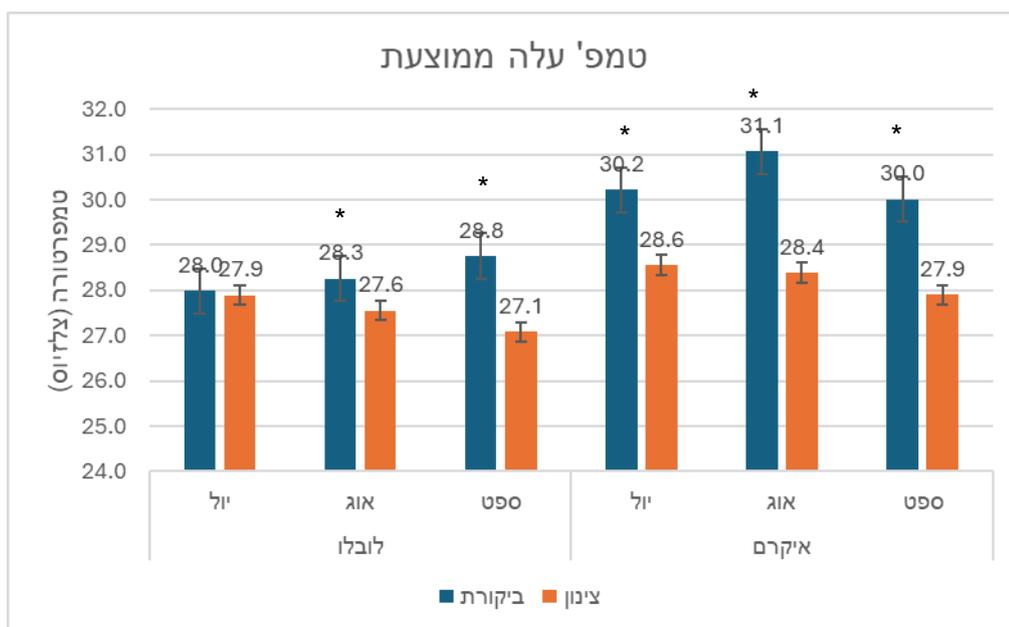


איור 2: טמפ' האויר המקסימלית היומית בביקורת (כחול) ובצינון (אדום).

בנוסף נמדדה עקת האידוי (VPD - Vapor Pressure Deficit), טמפ' הקרקע ומוליכות חשמלית של הקרקע במהלך תקופת הניסוי ולא נמצאו הבדלים משמעותיים במדדים אלו בין טיפול הצינון לביקורת.

טמפ' עלה

באמצעות חיישני טמפ' העלה של מערכת סימור, מדדנו את טמפ' העלה בשני הזנים, לובלו ואיקרם, בטיפול הצינון ובביקורת.



איור 3: טמפ' העלה הממוצעת בביקורת (כחול) ובצינון (אדום) בשעות היום (08:00-18:00), בשני הזנים לאורך חודשי הגידול. * מציינת הבדל מובהק סטטיסטית בין הטיפול לביקורת.

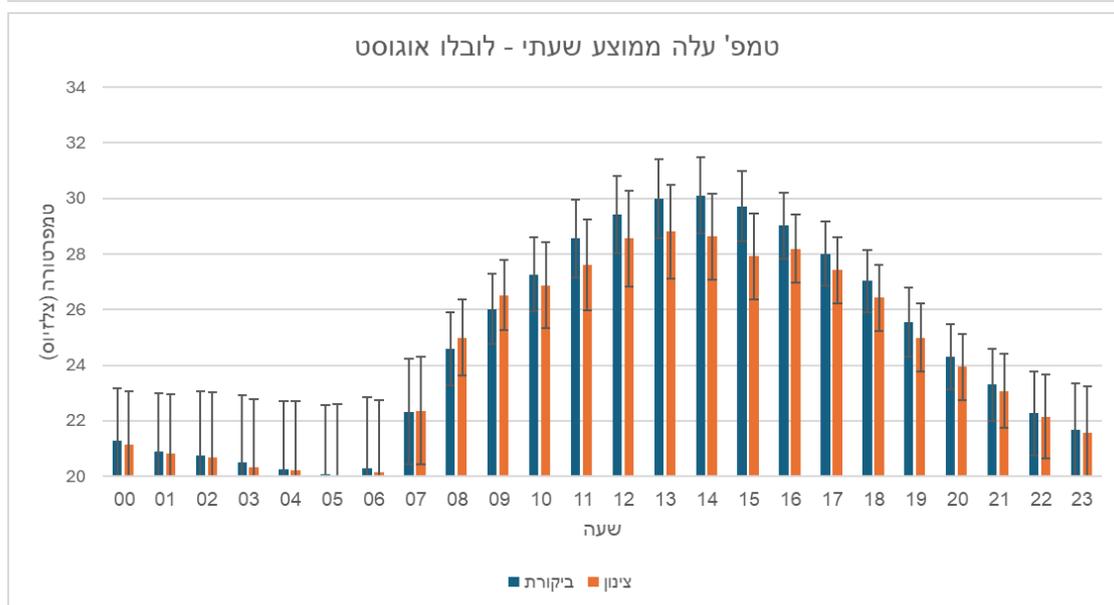
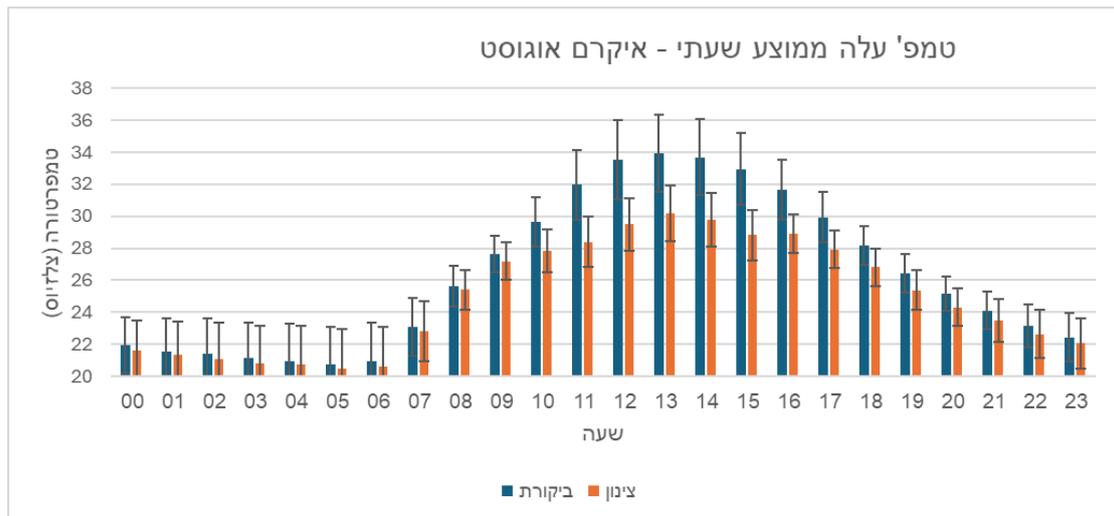
מאיור 3 נראה כי בשני הזנים, בכל החודשים, נמדדה טמפרטורת עלה ממוצעת גבוהה יותר בביקורת בהשוואה לטיפול הצינון. בזן לובלו, טמפ' העלה היתה נמוכה מהזן איקרם, גם בביקורת. עוד ניתן לראות כי לצינון היתה השפעה חזקה יותר בזן איקרם (ירידה בכ-2-3 מעלות) לעומת הלובלו (ירידה בכ-1.5 מעלות).

טבלה 1: ממוצעי טמפרטורת עלה בביקורת ובטיפול צינון בלובלו ובאיקרם וניתוח מובהקות (ANOVA) לכל חודש.

זן	חודש	ביקורת C°	צינון C°	p-value
לובלו	יולי	28	27.9	0.41
	אוגוסט	28.3	27.6	0.0003
	ספטמבר	28.77	27.1	<0.001
איקרם	יולי	30.22	28.56	0.004
	אוגוסט	31.06	28.39	<0.001
	ספטמבר	30.01	27.9	<0.001

ניתוח שונות (ANOVA) בוצע בנפרד לכל חודש כדי לבחון את השפעת הצינון על טמפרטורת העלה (טבלה 1). בזן איקרם נמצאה הפחתה מובהקת בטמפרטורת העלה בטיפול הצינון בהשוואה לביקורת בכל חודשי המדידה ($p < 0.01$). בזן לובלו לא נמצא הבדל מובהק ביולי, אך באוגוסט ובספטמבר טמפרטורת העלה הייתה נמוכה באופן מובהק בצמחי הצינון ($p < 0.001$). באופן כללי מערכת הצינון הפחיתה את טמפרטורת העלה בעיקר במהלך חודשי הקיץ המאוחרים.

על מנת לבחון את ההשפעה המירבית של הצינון על הצמחים, בחנו את ממוצע טמפ' העלה בצינון ובביקורת לאורך שעות היום, בחודש אוגוסט, בשני הזנים.



איור 4: ממוצע שעתי של טמפ' העלה בחודש אוגוסט בביקורת (כחול) ובצינון (אדום), בזן איקרום (למעלה) ובזן לובלו (למטה).

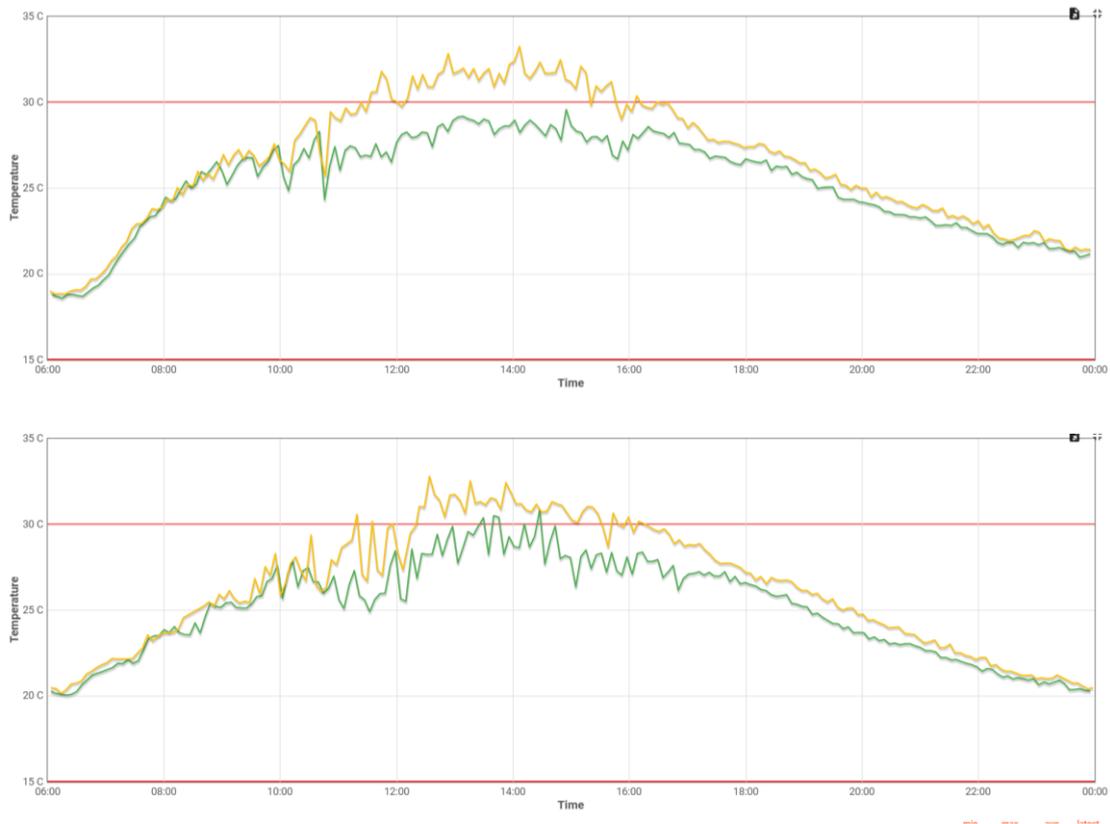
הגרפים באיור 4 מציגים את טמפרטורת העלה הממוצעת לפי שעה במהלך חודש אוגוסט, בזנים איקרום ולובלו. בשני הזנים טמפרטורת העלה בשעות הלילה והבוקר המוקדמות נמוכה ונמצאת בטווח הנחשב נוח לחנטה, ללא הבדל מהותי בין הצינון לביקורת. משעות הבוקר חלה עלייה בטמפרטורת העלה והיא עוברת את 25 מעלות בערך בין השעות 09:00-18:00, פרק זמן שבו נצפים פערים ברורים בין הטיפולים.

ההשפעה של הצינון ניכרת בעיקר בשעות החמות של היום, בשעות 10:00-16:00 באיקרום ובשעות 11:00-15:00 בלובלו. בשיא היום, בין השעות 13:00-14:00 ההשפעה של הצינון היא משמעותית ביותר והביאה לירידה של כ-4 מעלות באיקרום וכ-2 מעלות בלובלו. בשעות שמחוץ לטווחים אלה הפערים בין הצינון לביקורת קטנים יותר ופחות משמעותיים.

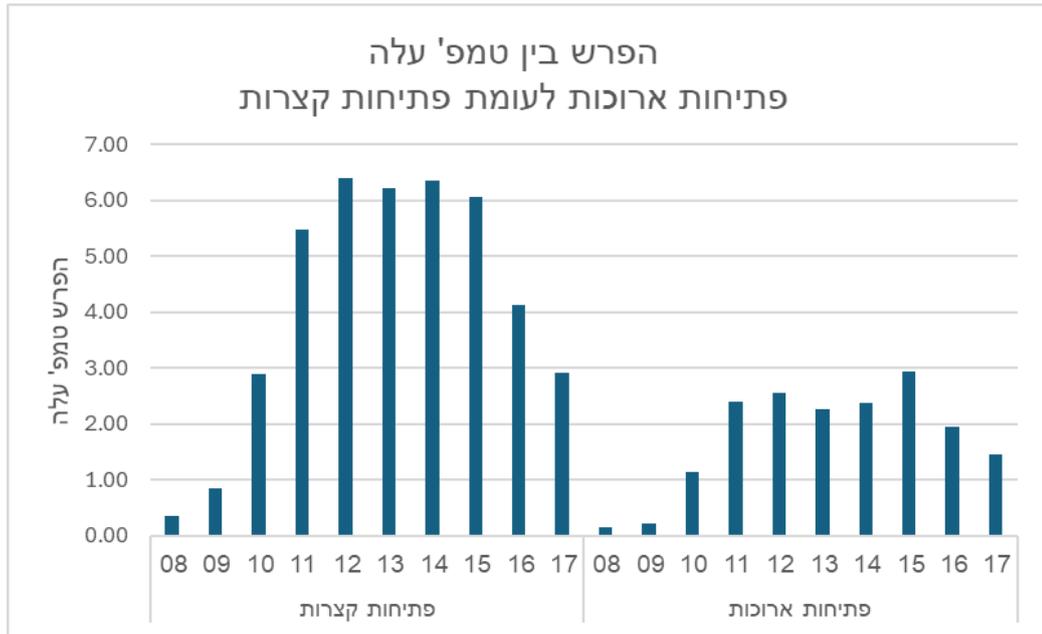
יש לציין כי לזן איקרים שטח פני העלים הוא גדול יותר מהעלים של זן לובלו ויתכן וזו הסיבה כי הזן איקרים מושפע יותר מהצינון ההתנדפותי מאשר לובלו.

השוואת משטרי צינון קצרים וארוכים

במהלך הגידול נבדקה תגובת טמפרטורת העלה לשתי שיטות צינון: פתיחות ארוכות עם הפסקות ארוכות ופתיחות קצרות עם הפסקות קצרות. ברירת המחדל היתה פתיחות ארוכות עם הפסקות ארוכות משום שמתצפית בשטח עלה כי פתיחות ארוכות מאפשרות לטיפות להגיע גם לעלים התחתונים, בעוד פתיחות קצרות מגיעות בעיקר לאמירים ולאזור העליון של הצמח. עם זאת, על מנת לבחון את ההשפעה של פתיחות קצרות, נבחנה שיטה זו אחת לחודש למשך כ-5-7 ימים. הזן איקרים נמצא רגיש יותר להשפעת הצינון בהשוואה ללובלו ולכן מוצגות כאן תוצאותיו.



איור 5: טמפרטורת עלה בביקורת עלה (צהוב) ובצינון (ירוק) בזן איקרים ביום מייצג בחודש אוגוסט. פתיחות קצרות - 10 שניות כל 50 שניות (למעלה), לעומת פתיחות ארוכות - 5 דקות כל 20 דקות (למטה).

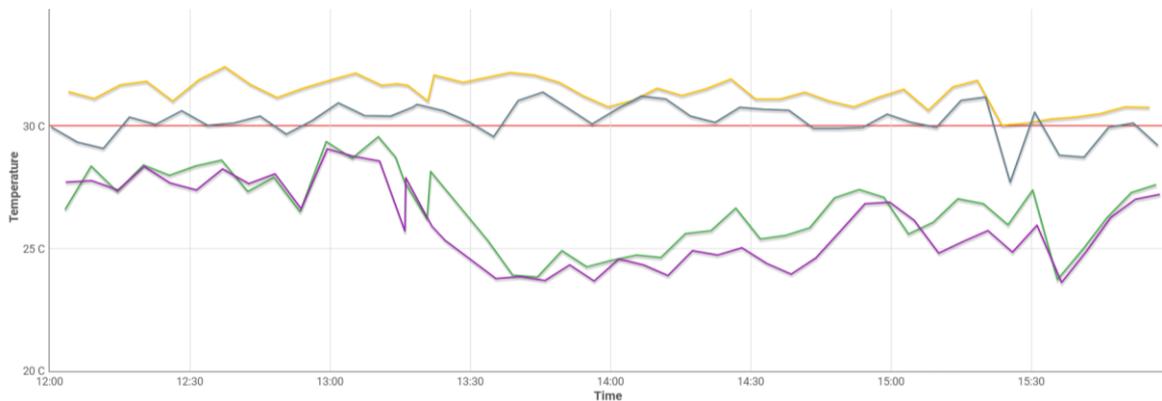


איור 6: ממוצע ההפרש בין טמפ' העלה בביקורת לצינון בזן איקרם, לפי שעה ביום, בפתיחות צינון ארוכות לפתיחות צינון קצרות.

ניתן לראות באיור 6 כי בפתיחות הקצרות התקבל הפרש גבוה יותר בין טמפרטורת העלה בביקורת לצינון. כמו כן, באיור 5 ניתן לראות דפוס יציב יותר לאורך היום המתבטא בתנודתיות נמוכה יחסית בפתיחות הקצרות לעומת פתיחות ארוכות. עם זאת, יש לקחת בחשבון כי כאמור, התצפיות בשטח הראו כי בפתיחות הקצרות הצינון לא הגיע לחלקו התחתון של הצמח ויש לקחת זאת בחשבון.

פתיחה רציפה – בדיקת פוטנציאל הצינון

בתאריך 9/9/2025 בוצעה בדיקה להערכת פוטנציאל הצינון המרבי, באמצעות הפעלת צינון רציפה ללא הפסקות. הצינון הופעל החל מהשעה 13:15 ונמשך ברציפות עד השעה 14:30.

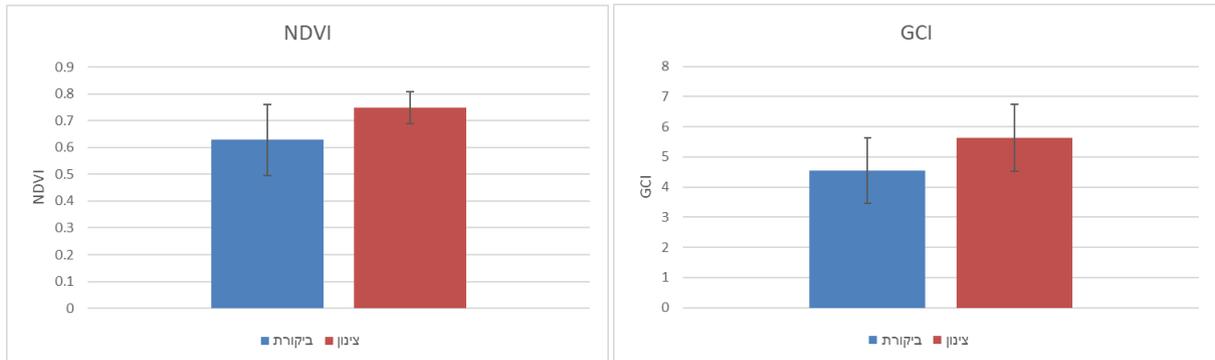


איור 7: טמפ' עלה בביקורת (איקרם- צהוב, לובלו – כחול) ובצינן (איקרם – ירוק, לובלו – סגול) בבדיקת הפעלת צינן רציף (החל מ13:15)

כמתואר באיור 7, הפעלת הצינן הרציף הביאה לירידה חדה בטמפרטורת העלה בשני הזנים, איקרם ולובלו לכ-25 מעלות, בעוד שבביקורת טמפרטורת העלה היתה בטווח של כ-30 עד 32 מעלות. תוצאה זו מדגימה את פוטנציאל ההפחתה המרבי של טמפרטורת העלה באמצעות צינן רציף בתנאי עומס חום.

התפתחות הצמח:

באמצעות מערכת החיישנים של חברת 'סימור' נערך מעקב אחר מדדים היפרספקטראליים בצמחי הביקורת ובצינן. ההבדלים העיקריים בין הטיפולים באו לידי ביטוי בעיקר בזן איקרם בחודש אוגוסט ולכן מוצגות כאן תוצאותיו:



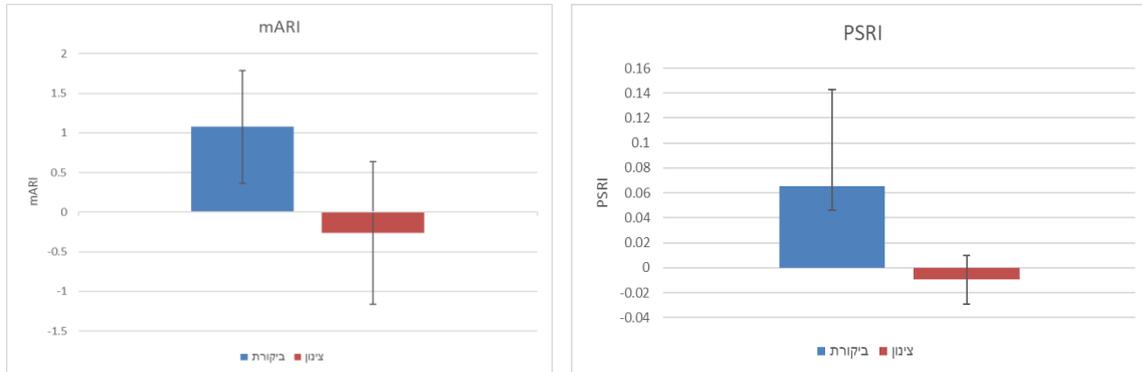
איור 8: ערכי NDVI ו-GCI בזן איקרם בביקורת (כחול) לעומת צינן (אדום).

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

מדד ספקטראלי המשקף 'ויגור' של הצמח וכיסוי ירוק, על בסיס ההפרש בין ההחזר בתחום האדום ובתחום התת-אדום הקרוב (Near Infrared). ערכים גבוהים מעידים על צמח פעיל ובריא יותר. באיור 8 נראית עלייה ב-NDVI בטיפול הצינן לעומת הביקורת המעידה על שיפור כללי במצב הצמח.

GCI – Green Chlorophyll Index

מדד המעריך את ריכוז הכלורופיל בעלים ומשקף את רמת הפוטוסינתזה והפעילות המטבולית. ערכים גבוהים מצביעים על רמת כלורופיל גבוהה יותר. מאיור 8 עולה כי בצינן נמדדו ערכי GCI גבוהים יותר בהשוואה לביקורת, דבר המצביע על שיפור במערכת הפוטוסינתטית.



איור 9: ערכי PSRI ו-mARI בזן איקרים בביקורת (כחול) לעומת צינן (אדום).

mARI – modified Anthocyanin Reflectance Index

מדד ספקטרלי המשקף הצטברות אנתוציאנינים בעלים, המשמשת כסמן לתגובת עקה פיזיולוגית. ערכים גבוהים מעידים על הפעלת מנגנוני הגנה ותגובה לעקה. באיור נצפים ערכי mARI גבוהים בביקורת, לעומת ערכים נמוכים ואף שליליים בטיפול הצינן, המעידים על הפחתת עקה בצמחים המטופלים.

PSRI – Plant Senescence Reflectance Index

מדד ספקטרלי המשמש להערכת תהליכי הזדקנות בצמח, ומבוסס על שינוי היחס בין פיגמנטים פוטוסינתטיים לקרוטנואידים. ערכים גבוהים מעידים על הזדקנות מואצת או עקה, בעוד שערכים נמוכים מעידים על שמירה על חיוניות העלים. באיור 10 נצפים ערכי PSRI גבוהים יותר בביקורת, לעומת ערכים נמוכים בטיפול הצינן, המלמדים על האטת תהליכי הזדקנות ושיפור המצב הפיזיולוגי בצמחים המטופלים. תוצאות היפרספקטרליות אלו נתמכות גם בתצפיות ויזואליות, המצביעות על מצב פיזיולוגי משופר בצמחים המצוננים בהשוואה לצמחי הביקורת.



איור 10: צמחי איקרום במהלך הגידול – מימין צמחי הביקורת, משמאל צמחי הצינון.



איור 11: מופע הפירות של הזן איקרום בביקורת (מימין) ובצינון (משמאל).

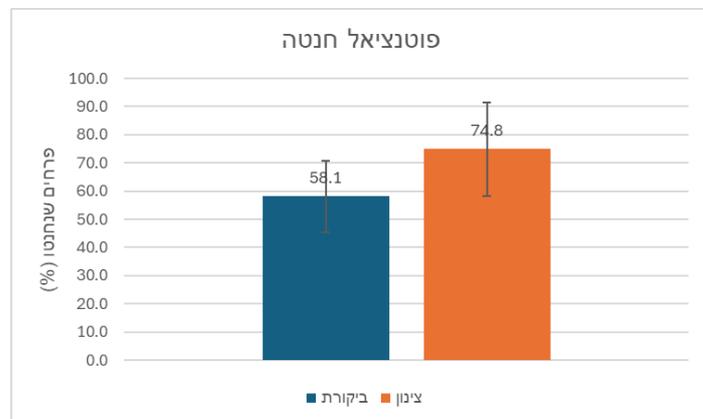


איור 12: מופע העלים של הזן לובלו בביקורת (מימין) ובצינון (משמאל).

איורים 10-12 מדגימים את ההשפעה החיובית שהיתה לצינון על מופע הכללי, הפירות והעלים של צמחי הביקורת והצינון בזנים איקרום ולובלו.

פריחה וחנטה

במהלך הגידול, נערך מעקב לבחינת מצב החנטה בצמחי הביקורת והצינון בזן לובלו. נערכה ספירה שבועית של מספר הפרחים באשכול וכמה מתוכם חונטים לפרי.

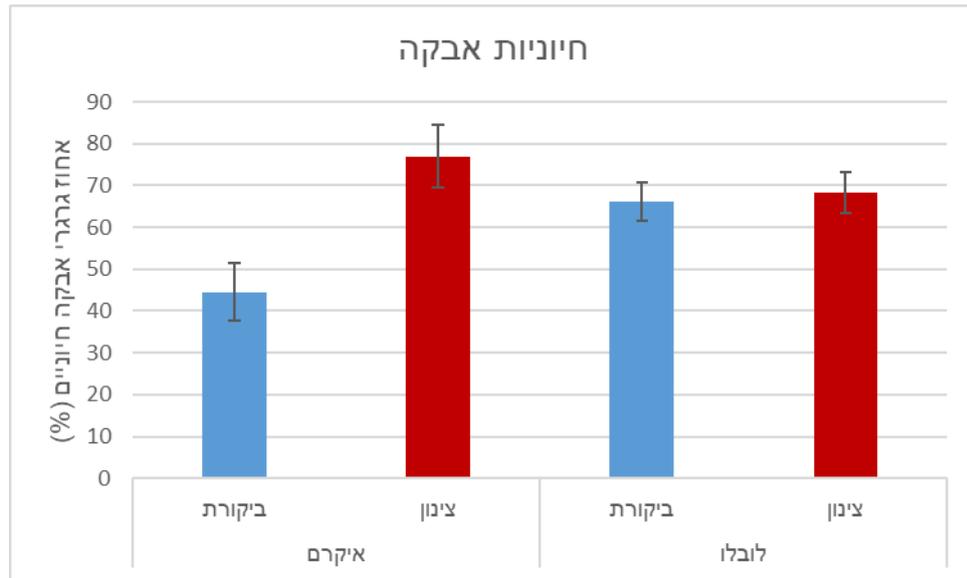


איור 13: ממוצע פוטנציאל החנטה בביקורת (כחול) ובצינון (אדום).

מהספירות עולה כי ממוצע של מספר הפרחים באשכול היה דומה בביקורת ובצינון ואילו פוטנציאל החנטה (אחוז הפרחים שחנטו לפרי מתוך הפרחים באשכול) היה 75% בצינון לעומת 58% בביקורת (איור 13), אם כי ללא הבדל מובהק בין הטיפולים.

חיוניות אבקה:

בחודש אוגוסט, נאספו פרחי עגבניה מטיפול הביקורת וטיפול הצינון ונשלחו לבדיקת חיוניות אבקה (באמצעות צביעה בריאגנט אלכסנדר) במעבדתו של ד"ר חגי יסעור.



איור 14: חיוניות אבקה בפרחי הביקורת (כחול) והצינן (אדום) בזנים לובלו ואיקרם.

ניתן לראות באיור 14 כי בעוד בזן לובלו לא נצפו הבדלים בין הביקורת לצינן, בזן איקרם נמצאו הבדלים משמעותיים בחיוניות האבקה. החיוניות בצינן היתה גבוה בכ-40% מהביקורת.

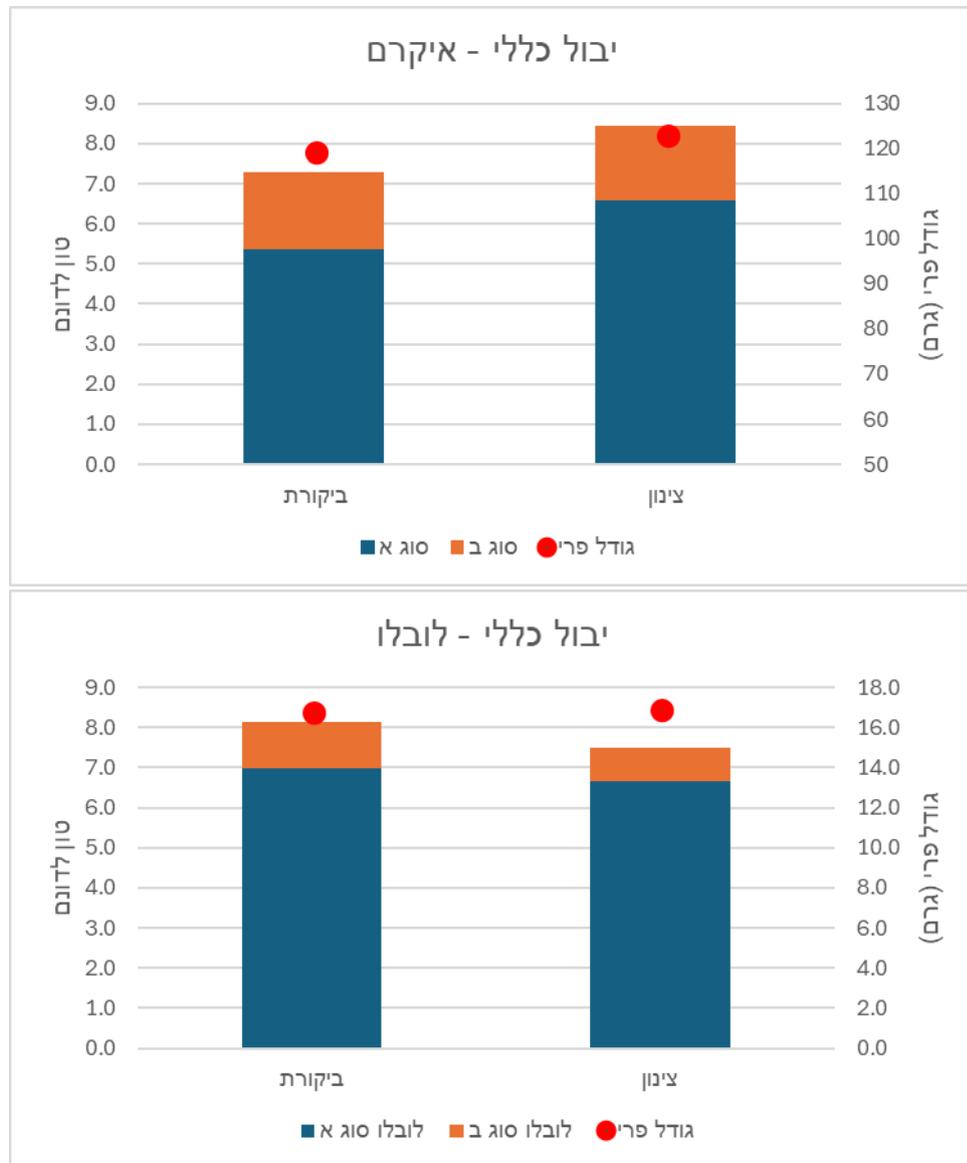
תוצאות יבול

להלן תוצאות היבול מסוג א, סוג ב, היבול הכללי וגודל הפרי אשר נמדדו בשני הזנים, לובלו ואיקרם, בביקורת ובצינן:

טבלה 2: תוצאות יבול בזנים איקרם ולובלו בביקורת ובצינן.

זן	טיפול	סוג א	סוג ב	יבול כללי	גודל פרי	ס.ת.
איקרם	ביקורת	5.4	1.5	1.9	0.2	7.3
	צינן	6.6	0.3	1.8	0.5	8.4
לובלו	ביקורת	7.0	0.6	1.1	0.2	8.1
	צינן	6.7	1.5	0.8	0.1	7.5

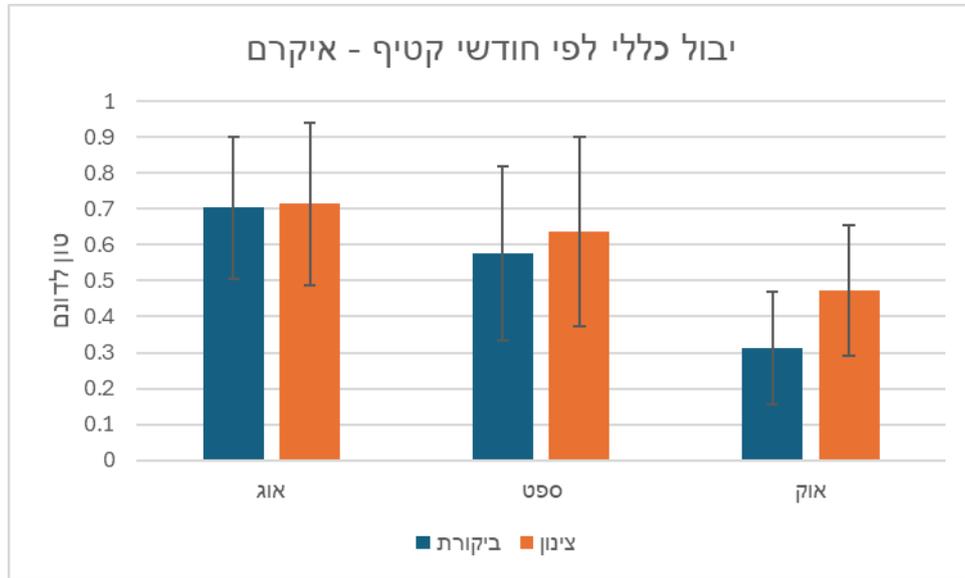
שם צמח	טיפול	יבול סוג א	יבול סוג ב	יבול כללי	גודל פרי ממוצע	ס.ת.
lobelo	Control	6.21	1.02	1.55	0.42	7.24
lobelo	Cooling	5.32	1.30	0.65	0.13	5.97
Ikram	Control	4.46	1.44	1.60	0.23	6.06
Ikram	Cooling	5.10	0.42	1.40	0.52	6.50



איור 15: תוצאות היבול בזן איקרם (למעלה) והזן לובלו (למטה) בצינון וביקורת. סוג א (כחול), סוג ב (כתום) וגודל פרי (נקודה אדומה).

על פי תוצאות היבול העונתי (טבלה 2 ואיור 15) נראה כי בזן איקרם היבול היה מעט גבוה יותר בצינון מאשר בביקורת. דבר הבא לידי ביטוי ביבול כללי, יבול סוג א' וגודל פרי גבוהים יותר. אם התוצאות לא מובהקות סטטיסטית. בזן לובלו לעומת זאת, לא נמדדו הבדלים ביבול בין הביקורת לצינון.

על מנת להעריך באילו חודשים במהלך העונה הייתה להשפעת הצינון תרומה משמעותית ליבול, נבחן ממוצע היבול בזן איקום (משום שבזן זה נצפו הבדלים בין טיפול הצינון לביקורת) לאורך חודשי הקטיף השונים.



איור 16: יבול כללי לפי חודשי קטיף בזן איקום בצינון ובביקורת.

מאיור 16 עולה כי העלייה ביבול בטיפול הצינון לעומת הביקורת באה לידי ביטוי בעיקר בחודשים ספטמבר ואוקטובר. בתקופה זו נראה כי היבול בביקורת נפגע, ככל הנראה, מהצטברות עומסי חום.

תוצאות איכות וחיי מדף

לצורך בחינת השפעת הצינון על חיי מדף, נמדדו מדדים פיזיים וחזותיים לפירות כפי המתואר בפרק שיטות.

טבלה 3: אחוזי נפלים, פירות מפוצצים, פירות רקובים והערכת מראה כללי (1-5) בשני הזנים, איקום ולובלו, בביקורת ובצינון ($SE \pm, n=4$).

זן	טיפול	נפלים (%)	ש.ת.	מפוצצים (%)	ש.ת.	רקובים (%)	ש.ת.	מראה כללי (1-5)	ש.ת.
איקום	ביקורת	95.2	1.6	32	7.3	6.3	5.1	2.6	0.2
	צינון	96.9	2	26.5	3.7	7.1	3.4	2.7	0.1
לובלו	ביקורת	53.3	18.1	0	0	0	3.6	4.2	0.3
	צינון	26.7	16.3	2.2	1.2	0	7.2	4.4	0.1

ש.ת	רעננות שידרה (1-5)	ש.ת	מראה כללי (1-5)	ש.ת	גוון כללי (1-3)	ש.ת	חריגי צבע (%)	ש.ת	רקובים (%)	ש.ת	מפוצצים (%)	ש.ת	נפלים (%)	טיפול	שם צמח
0.1	1.1	0.2	2.6	0.1	1.9	5.1	14.9	2.9	6.3	7.3	32.0	1.6	95.2	ביקורת	איקרם
0.0	1.2	0.1	2.7	0.1	2.0	3.4	25.3	1.3	7.1	3.7	26.5	2.0	96.9	צינון	
0.2	0.5	0.3	4.2	0.1	2.6	3.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	53.3	ביקורת	לובלו
0.2	0.3	0.1	4.4	0.0	2.9	7.2	9.1	0.0	0.0	1.2	2.2	16.3	26.7	צינון	

הממצאים העיקריים מטבלה 3 מצביעים על כך שטיפול הצינון לווה בירידה באחוז הנפלים בזן לובלו, ובירידה באחוז הפירות המפוצצים בזן איקרם.

מדדים כימיים של הפרי

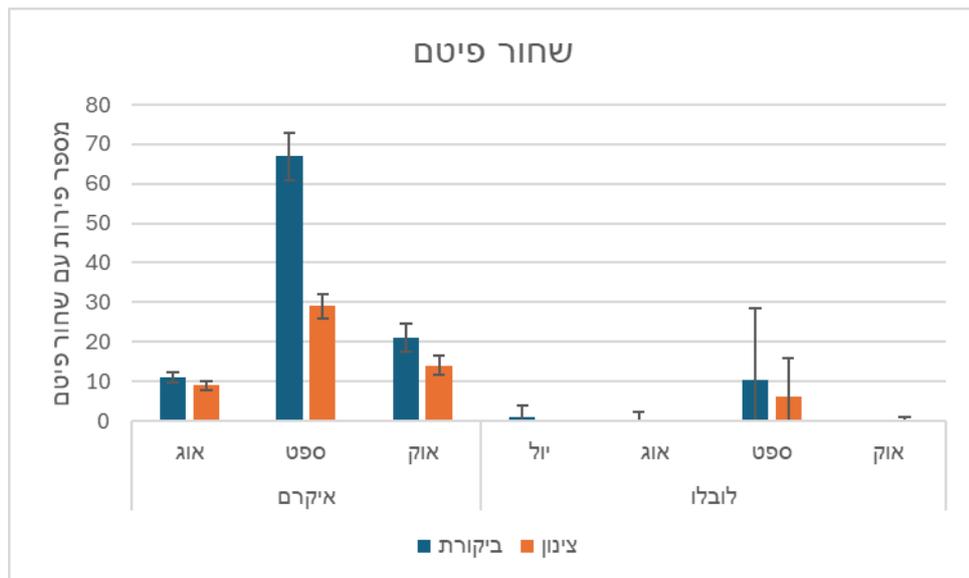
במסגרת הניסוי נבחנו השפעות טיפול הצינון לעומת טיפול הביקורת על מדדים כימיים של הפרי בזן לובלו. לצורך כך נמדדו ריכוז מוצקים מסיסים כוללים (TSS) ואחוז חומציות כללית (TA) וחושבו ממוצעים וסטיות תקן לכל טיפול (טבלה 4).

טבלה 4: ממוצע מדדים כימיים של הפרי בטיפולי ביקורת וצינון ($SD \pm, n=4$).

מדדים כימיים	ביקורת	ס.ת.	צינון	ס.ת.
ממוצע של TA (%)	0.39	0.03	0.44	0.05
ממוצע של TSS (%)	5.83	0.42	6.23	0.56

מטבלה 4 עולה כי קיימת מגמה של TA ו-TSS גבוהים יותר בצינון מאשר בביקורת אם כי התוצאות אינן מובהקות סטטיסטית.

שחור פיטם



איור 17: מספר הפירות עם שחור פיטם בביקורת (כחול) ובצינון (אדום) בלובלו ובאיקרם בחודשי הקטיף השונים.

מאיור 17 עולה כי בזן איקרם שכיחות שחור הפיטם גבוהה יותר בהשוואה לזן לובלו. כמו כן, בחודש ספטמבר נצפו מרבית מקרי שחור הפיטם בשני הזנים, בעוד שבחודשים האחרים השכיחות הייתה נמוכה ובזן לובלו כמעט אפסית. בנוסף, בטיפול הצינון שחור הפיטם היתה נמוכה יותר, ממצא הבא לידי ביטוי בעיקר בחודש ספטמבר בזן איקרם.



איור 18: תמונה של פירות עם שחור פיטם בזן האיקרם בצמחי הביקורת.

באיור 18 ניתן לראות את חומרת תופעת שחור הפיטם בזן האיקרם בצמחי הביקורת.

הגנת הצומח

במהלך הניסוי נצפו סימפטומים של הוירוס TBRFV בכל הצמחים ללא הבדל בין הזנים או בין הטיפולים. כמו כן, נצפתה פגיעה משמעותית של אקריות בטיפולי הביקורת, אשר התבטאה בסימני נזק על העלים והפירות. לעומת זאת, בטיפולי הצינון לא נצפתה פגיעה דומה, והצמחים נראו בריאים יותר.



איור 19: תמונות עלים מצמח בביקורת (מימין) ומצמח המצונן (משמאל).

התמונות באיור 19 ממחישות את השפעת הצינון על רמת הנגיעות באקריות: צמחי הביקורת מציגים נגיעות חמורה, בעוד שהצמחים המצוננים נראים נקיים מאקריות. יש לציין כי ממצא זה מבוסס על תצפיות ויזואליות בשטח, ולא בוצעה מדידה כמותית של התופעה.

סיכום ומסקנות:

אזור רמת נגב מאופיין בטמפרטורות יום גבוהות, טמפרטורות לילה נוחות ולחות יחסית נמוכה באוויר. תנאים אלו מתאימים במיוחד ליישום צינון התנדפותי פשוט יחסית המופעל ע"י מערפלים בלחץ קו, אשר יעילותו גבוהה בעיקר בשעות עומסי החום הקיצוניים במהלך היום.

מתוצאות מחקר זה אשר נערך במשך 3 שנים נמצא כי הפעלת צינון התנדפותי יעיל בשיפור איכות וכמות היבול של עגבניות בעונת הקיץ. הפעלת מערכת הצינון הובילה לירידה עקבית בטמפרטורת האוויר המקסימלית ולירידה משמעותית בטמפרטורת העלים הממוצעת. על פי

מדדים היפרספקרטיים וכן על פי תצפיות ויזואליות הצינון ההתנדפותי תרם להפחתת תסמיני עקת חום, לירידה בשחור פיטם, לשיפור המופע הכללי של העלווה ולשיפור המצב הפיזיולוגי של הצמחים. ממצאים אלו מצביעים על צינון התנדפותי ככלי יישומי להתמודדות עם תנאי חום קיצוניים בגידול עגבנייה במיוחד לאור תהליכי שינויי האקלים וההתחממות הגלובלית.

השפעת הצינון הייתה תלויה במאפייני הזן. בזן איקרום, זן עגבנייה גדולה, רגיש לעומסי חום, המאופיין בעלים גדולים ובצימוח וגטיבי משמעותי, נצפתה השפעה חיובית הן על מצב הצמח והן על החנטה והיבול. בזן לובלו, זן צ'רי עמיד יחסית לעומסי חום, נצפה שיפור במופע העלים ופוטנציאל החנטה ובהפחתת תסמיני עקת חום, אך ללא השפעה על כמות

היבול, לצד שיפור באיכות הפרי. כמו כן, בשני הזנים נצפתה השפעה חיובית לצינון ברמת הנגיעות באקריות.

בבחירת משטר הפעלת הצינון נמצא כי השפעת הצינון הייתה המשמעותית ביותר בשעות עומס החום (10:00–16:00) ולכן מומלץ למקד את הפעלת המערכת בעיקר בשעות אלו. במחקר זה ההשערה הייתה כי פתיחות ארוכות עם הפסקות ארוכות יהיו יעילות יותר מפתיחות קצרות עם הפסקות קצרות, שכן בפתיחות קצרות הצינון אינו מגיע לחלק האמצעי והתחתון של הצמח. עם זאת, מהשוואה שערכנו בין פתיחות ארוכות לקצרות על סמך מדידת הבדלי טמפרטורת העלה בין הצינון לביקורת נמצא כי פתיחות קצרות היו יעילות יותר מפתיחות ארוכות. כמו כן, התנודתיות בטמפרטורת העלה הייתה נמוכה יותר בפתיחות הקצרות. מצד שני, נמצא כי פתיחה ארוכה ללא הפסקה יכולה להוריד את טמפרטורת העלה באופן רציף בכ-4–5 מעלות ביחס לביקורת. ככל הנראה הדבר קשור למשכי ההפסקות בין מחזורי הצינון, כאשר ההפסקות הקצרות מנעו התחממות חוזרת של העלה.

עם זאת, לפתיחות ארוכות יתרון ביכולת להגיע גם לעלים התחתונים, דבר שעשוי להיות חשוב בשלבים מוקדמים כאשר הצמחים עדיין נמוכים, וכן במצב שבו קיימת נגיעות של אקריות בעלווה, שאז להגעת הצינון לכל עלוות הצמח יש חשיבות נוספת.

לאור זאת, המסקנות לגבי אופן ההפעלה האפקטיבי העולות ממחקר זה הן להתמקד בשעות עומס החום (10:00–16:00), ובשעות אלו להימנע מהפסקות ארוכות בין פולס לפולס. אורך פתיחת הפולסים צריך להיקבע בהתאם לגובה הצמח, לצורך בהגעה לעלים התחתונים או בהתמודדות עם אקריות, וכן בהתאם לחשש ממחלות עקב עודף לחות (למשל לפני הסרת עלים או בימים בהם הלחות גבוהה). כמוכן, גם בהתאם לשיקולי צריכת המים ועלותם. כלומר, כאשר אין חשש מעודף לחות ואין מגבלה של עלות מים, ניתן בעומסי החום להפעיל פתיחות ארוכות עם הפסקות קצרות, כלומר להפעיל את הצינון באופן אינטנסיבי יותר.

לסיכום, צינון התנדפותי מהווה כלי יעיל לשיפור תנאי הגידול בעגבנייה באזור רמת נגב, כאשר תרומתו תלויה בהתאמת אופן ההפעלה ומאפייני הזן. שילוב מושכל בין ניהול אקלים לניהול הצמח עשוי לשפר יבול ואיכות, ולהוות אסטרטגיה חשובה להתמודדות עם אתגרי התחממות עתידיים.

נספחים

נספח 1

תחנת הצמח של סימור משלבת סדרה של חיישנים אופטיים בגישת חישה מקרוב (Proximal Sensing), המערכת מספקת חישה תרמית עם דיוק של ± 0.3 מעלות צלסיוס, חישה היפר-ספקטרלית, 21 אורכי גל שונים, עם דיוק של ± 20 ננומטר בטווח של 260-940 ננומטר, UVC-UVB-UVA-Visible-NIR, ומערכת מיני-לייזר אשר מאפשרת למדוד את גובה הגידול וקצב גדילה.

המערכת עובדת בשיטת single pixel, ועושה ממוצע של כל שדה הראייה שלה, השטח הנמדד גדל ככל שהמדידה נעשית ממרחק רב יותר:

מרחק מדידה (ס"מ)	שטח נמדד (מ"ר)
50	0.13
100	0.5
200	2.1
300	4.8
400	8.6

ניתן לדעת את המרחק והשטח בפועל ע"י שימוש בנתונים של מערכת המיני לייזר.

המערכת מתרגמת את הנתונים ע"י אלגוריתמים מבוססי מחקר של חישה ספקטרלית שבמקור פותחו עבור לוויינים, כדוגמת NDVI, PRI, Green Chlorophyll Index, וכו', ומספקת כ-18 מדדים ספקטראליים שונים, אשר מספקים מידע על תפקודי צמח שונים כגון ביומסה, LAI, ריכוז כלורופיל, אנטוציאנים, יעילות פוטוסינטטית ועוד.

בשילוב עם חישת טמפרטורת הנוף והשוואה שלה לטמפרטורת אוויר, נמדדת בתחנת האקלים, ניתן לקבל אינדיקציה טובה לקצב ההתאדות מהנוף והשילוב הכולל נותן תמונה מקיפה על תפקוד הצמח ורמות סטרס, ברמה העונתית וגם ברמה היומית-שעתית. קצב המדידה ניתן להתאמה ויכול להגיע עד מדידה בכל דקה.

