

פיתוח מערכת מולדת לחסכון במים ולמארכת העונה האידול פלפל בערבה

שבתאי כהן, רבקה אופנבך, אילנה ולר, דודו אלקיים, רמי גולן,
ישראל צברי, אנטולי יוסל - תחנת יאיר, מו"פ ערבה
אמנון בוסתן - המכונים למחקר שימושי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

תקציר

הפלפל הוא גידול ותיק ומצליח בערבה, כ- 7000 דונם, רובם בבתי רשת. תנאי מזג האוויר בערבה מגבילים את אורך עונת הגידול, מפחיתים את פוטנציאל היבול ופוגעים באיכות הפרי. טמפרטורת הקרקע שנמדדה בקיץ בבתי רשת בערבה מגיעה ל- 35 מ"צ, ובמצעים מנותקים אף יותר. להערכתנו, ניתן להאריך את עונת הגידול, להעלות יבולים ולשפר את איכות הפרי ע"י שליטה בטמפרטורת שורשים נמוכה יותר. מטרת המחקר הן: א. פיתוח ממשק לשימוש מושכל ויעיל במים מאיכויות שונות ובדשן. ב. פיתוח טכנולוגיה לבקרה ושליטה על טמפרטורת מצע הגידול. ג. בחינת השפעת טמפרטורת מצע הגידול על ביצועי צמח הפלפל. ד. בחינה כלכלית של המערכת כמודל לגידול פלפל בערבה. בשנה החולפת הוקם בתחנת יאיר בערבה מתקן לויסות טמפרטורה ע"י מי ההשקיה במערכת מצע מנותק ומחזור מים (מליחים). במהלך סתיו 2003 ואביב 2004, המערכת שמרה בהצלחה על טמפ'. שורש של 23 מ"צ, פער של 4-9 מ"צ מביקורת, בהתאם לעונה. צינון השורשים הניב עליה של כ- 15% ביבול, רובה ככולה באביב, בעוד שבתחילת הגידול בסתיו לא נרשמה השפעה כלשהי על הצמחים. מערכת המחזור חוסכת מים רבים. עיקר צריכת המים ע"י הצמחים היא בשלהי העונה ויש לשקול כדאיות הארכת העונה מעבר לאפריל, תקופה בה היבול צונח מאוד. מטרת המחקר בשנים הבאות הן: א. להגדיר במדויק את תקופת הצינון הנדרשת. ב. למדוד ולאפיין השפעה על יבול הפרי ואיכותו. ג. לבחון השפעת טמפרטורת מצע מבוקרת על קצבי קליטת המים, הולכת מים בצמח, דיות והטמעה, ועל טמפרטורת העלוה. ד. להציג הערכה כלכלית של כדאיות הצינון בפלפל. צינון שורשים, גם אם יתברר כבלתי כדאי בפלפל, עשוי להוות כלי לשליטה ולשיפור הביצועים במיני גידולים רבים אחרים בערבה.

1. מבוא

החקלאות בערבה ובכיכר סדום מבוססת על היתרונות האקלימיים של אזורים אלה (קרינת שמש וטמפרטורות אופטימאליות בחורף ושימוש במים מליחים מקומיים) ותוצרתה מיוצאת בהצלחה רבה לאירופה בחורף ובאביב. שימור כושר התחרות בשוקי היצוא מותנה בהגדלת הכמות המשווקת, בהארכת עונת השיווק ובהעלאה מתמדת של איכות התוצרת. השגת מטרת אלה תלויה ביכולתנו להתגבר על מחסור חריף במים ובקרקע, במציאת פתרון לאילוח הקרקע ובהפחתת השפעת תנאי גידול בעייתיים בעונות השוליים. מעבר לגידול במצע מנותק יבטל את התלות בזמינות קרקע מתאימה ויאפשר שימוש חוזר במי ההשקיה. בכך תתאפשר הרחבת שטחי

הגידול והרחבת היצוא תוך שמירה על מכסות המים ומניעת זיהום סביבתי. חיטוי מצע גידול מנותק הינו פשוט, יעיל וזול מחיטוי קרקע. מערכת הכוללת גידול במצע מנותק ומיחזור מי ההשקיה תהווה תשתית לפיתוח אמצעים לבקרת טמפרטורת מצע הגידול, מה שעשוי לתרום להקדמה במועדי השתילה (הארכת עונת הגידול וההנבה) ולהעלאת היבול הכולל ואיכותו. ניסויים הקדמיים בתחנות המחקר בערבה הצפונית ומרכזית, אשר טיפלו בנפרד בבעיות שונות שהוזכרו לעיל הוכיחו, שגידול במצע מנותק בתנאי אקלים מיטביים (בית גידול) עשוי להניב יבולים גבוהים, באיכות טובה ובמשך עונה ארוכה יותר. נמצא שמיחזור מי ההשקיה מביא לחסכון רב במים ומאפשר בקרה ושליטה מרביות ברמות ההשקיה, המליחות והדישון. במחקר זה החל פיתוח מערכת אינטגרטיבית המשלבת את יתרונות הגידול במצע מנותק, מיחזור מי ההשקיה ושליטה על טמפרטורת מצע הגידול – כל זאת בבתי רשת, כמקובל אצל חקלאי הערבה. מטרות המחקר הן: א. פיתוח ממשק לשימוש מושכל ויעיל במים מאיכויות שונות ובדשן. ב. פיתוח טכנולוגיה לבקרה ושליטה על טמפרטורת מצע הגידול. ג. בחינת השפעת טמפרטורת מצע הגידול על ביצועי צמח הפלפל. ד. בחינה כלכלית של המערכת כמודל לגידול פלפל בערבה.

2.1. מידת החדשנות בעבודה, הבעיות שהיא אמורה לפתור ואפשרויות יישומה

החקלאות בערבה ובכיכר סדום מבוססת על היתרונות האקלימיים של אזורים אלה (קרנית שמש וטמפרטורות אופטימאליות בחורף) ועל שימוש במים מליחים מקומיים, התורמים להעלאת איכותם של חלק מהמוצרים. התוצרת מיוצאת בהצלחה רבה לשווקי אירופה בחורף ובאביב. שוק הפרות והירקות באירופה מוכתב ע"י מערכת השיווק המאורגנת שם וכאשר זו מזהה מוצר טוב, היא דורשת נוכחות מסיבית וסדירה על המדף לאורך זמן רב ככל שניתן. לכן, שימור כושר התחרות בשווקי היצוא מותנה בהגדלת הכמות המשוקת, בהארכת עונת השיווק ובהעלאה מתמדת של איכות התוצרת.

חקלאי הערבה מגדלים את תוצרתם בקרקע מקומית שטופה או על קרקע שעברה ציפוי חול שהובא מהאזור ובשנים האחרונות – מממלכת ירדן. ביישובים הקיימים אין יותר עתודות קרקע מקומית לגידול חקלאי וגם יבוא החול מירדן נפסק מסיבות שונות. לכן, הרחבת הייצור החקלאי אינה יכולה יותר להתבסס על גידול ישירות בקרקע מקומית או מטויבת. בעיה נוספת הקשורה בקרקע היא הצורך המוחלט בחיטוי כפתרון לנגיעותה הרבה במחלות. בעבר נהג הפתרון של חיטוי במתיל ברומיד, אשר נפסל לאחרונה ויאסר לחלוטין בעתיד הקרוב מסיבות של איכות סביבה ודרישות השוק באירופה. עדיין אין פתרון חילופי דומה ברמה מניחה את הדעת.

בעיות אלה של מצוקת קרקעות חריפה ניתנת לפתרון ע"י שימוש **במצעי גידול מנותקים**. פתרון זה מבטל את הצורך בהתאמת פרמטרים של הקרקע לגידול חקלאי; ניתן להשתמש בכל שטח שהוא ובלבד שיפולס ויהיה נגיש לחקלאי ולצידו. המעבר לגידול במצע מנותק כרוך אמנם בהשקעה כספית ראשונית, אך את זו יש לשקול מול ההשקעה שנדרשה בעבר להכשרת קרקע טבעית ומול יתרונות נוספים ששיטה זו מקנה.

מגבלה חמורה נוספת היא זמינות מים טובים לחקלאות. כאמור, בערבה ובכיכר סדום נעשה שימוש במים מליחים ממקורות מקומיים וברמות מליחות שונות. בכיכר סדום מליחות המים גבוהה (3.5 ד"ס/מ) יחסית למי הערבה התיכונה (2.2 ד"ס/מ) ויש צורך בהתפלה ובמיהול כדי להתאימם לגידולים הידועים כרגישים, כפלפל. מקורות המים המליחים בערבה ובכיכר סדום

מוגבלים מאוד וכבר עתה אין בנמצא מים זמינים להרחבת שטחי הגידול. מחיר המים המותפלים עדיין גבוה ומהווה מגבלה ברורה לשימוש חקלאי. מגבלות אלה יוצרות צורך דחוף בהגדלת מקורות המים לחקלאות. פתרון מבטיח לבעיה זו הוא **מיחזור מי ההשקיה**. מיחזור מי ההשקיה אפשרי רק במערכות גידול במצע מנותק.

גידול במצע מנותק אינו מהווה חידוש מדעי או חקלאי, אך מצריך גישה שונה מבחינת ממשק ההשקיה והדישון. גידול במצע מנותק רגיש מאוד לכמות ולאיכות מי ההשקיה. קיימת נטייה לצבירה מהירה של מליחים, מתחייבת השקיה תקופה בגלל צמצום בית השורשים ונדרש ניטור מתמיד של איכות המים. כמות מי ההשקיה הנדרשת גבוהה יותר מאשר בקרקע רגילה לצורך הדחת עודפי המינרלים מהמצע. מיחזור מי ההשקיה, שגם הוא אינו בגדר חידוש, ממילא מצריך ניטור ובקרה של איכות המים ובכך מהווה השלמה ליצירת **מערכת גידול מבוקרת ואופטימאלית מבחינת השקיה ודישון**. חדשנות טמונה בהתמודדות עם מיחזור מים מליחים, אשר עשויה להניב מידע חדש בנוגע לאפשרויות השימוש בהם בגידולים חקלאיים. הידע הקיים ומקובל כיום בהקשר לעמידות ולביצועי גידולים שונים בתנאי מליחות נוצר תוך שימוש בשיטות חקלאיות קונבנציונאליות. ניסיונות הקדמיים מוכיחים, שמחזור מי ההשקיה במצע מנותק מנטרל את הפרמטר של כמות מי ההשקיה. ההשקיה נעשית בעודף גדול (פי 5 מצריכת הצמח בפועל), כשעיקר תשומת הלב נתונה לשמירת איכות המים וריכוזי הדשן ברמה אופטימאלית. לאחרונה הראינו, שניתן לגדל פלפל, המוגדר בספרות כרגיש למליחות, ברמת מליחות גבוהה (כ- 4 ד"ס/מ) ולקבל יבול גבוה ואיכותי, כל עוד נשמר הרכב וריכוז מינרלים נכון בתמיסת הגידול. מניסיוננו, צריכת המים של גידול פלפל במערכת מצע מנותק ומיחזור מי ההשקיה (בבתי צמיחה) נמוכה מזו של גידול פלפל קונוונציונלי (בבתי רשת, בקרקע). אם ניקח בחשבון את כמות המים הנדרשים לשטיפת הקרקע בטרם גידול (כ- 150 מ"מ), יש למערכת המוצעת פוטנציאל לחסכון משמעותי מאוד במים בהשוואה לגידול קונוונציונאלי. נושא זה נבחן במחקר זה.

הארכת עונת הגידול והשיווק היא מטרה חשובה בכל ענפי הירקות בערבה ובפלפל בפרט. תנאי טמפרטורה קיצוניים בקיץ ובחורף מפחיתים בשיעורים ניכרים את היבול ואיכותו. תנאי האקלים המיטביים והשיטות לבקרה ושליטה בטמפרטורת האוויר **בחממה** ידועים ומאפשרים קבלת יבולי שיא תוך מזעור הפגעים, אולם הכדאיות הכלכלית נתונה בספק. במחקר הזה מוצעת גישה חדשה, לפיה בעזרת שליטה בטמפרטורת בית השורשים ניתן להקדים את השתילה ולפזר את ההנבה לאורך תקופה ארוכה יותר של הגידול במטרה להגדיל את ההכנסות מיחידת גידול. השליטה בטמפרטורת מצע הגידול מושגת ע"י בידוד טרמי של בית השורשים, מיחזור מי ההשקיה ובקרת הטמפרטורה שלהם.

מדידות שערכנו הראו, שטמפרטורת מצע הגידול עלולה להגיע בימים חמים לערכים מעל 30 מ"צ ולמשך חלק ניכר של היממה. לחילופין, בחורף יורדת טמפרטורת המצע מתחת ל- 10 מ"צ. עפ"י הידוע בספרות, ערכי טמפרטורה קיצוניים כאלה גורמים לשיבוש קליטת מים ומינרלים, מחסור בחמצן (בטמפרטורה גבוהה) ומתוך כך הם פוגעים מאוד בביצועי הצמח וביכולתו להניב פרי איכותי.

רוב חקלאי הערבה מגדלים פלפל בבתי רשת, כדי להפחית נזקי קרינה וטמפרטורה, תוך שמירה על רמת השקעה נמוכה. מעבר לחממות מבוקרות עשוי, אמנם, להביא ליבולים גבוהים ואיכותיים בהרבה, אך ההשקעה במבנים ובבקרת אקלים היא יקרה לאין שיעור ומידת הכדאיות הכלכלית שלה אינה ברורה עדיין. המערכת המוצעת כאן, של גידול במצע מנותק,

מיחזור מי ההשקיה ובקרת הטמפרטורה של מצע הגידול מיועדת לצורת הגידול המקובלת בקרב חקלאי הערבה, בבתי רשת. חישובינו מראים, שכמות האנרגיה שתושקע בבקרת טמפרטורה של מצע הגידול תהיה קטנה בהרבה בהשוואה לזו המושקעת בבקרת אקלים בחממה. במהלך המחקר נבחנת שאלה כלכלית זו בנוסף להשפעה הישירה של בקרת טמפרטורת המצע על הגידול.

בקרת טמפרטורת מצע הגידול נדירה ביותר ונהוגה בממשקים אינטנסיביים במיוחד (השרשת ייחורים במשתלות, לדוגמא) או בהידרופוניקה. הצעתנו לשלוט בטמפרטורת מצע הגידול באמצעות טמפרטורת מי ההשקיה תוך בידוד מרבי של בית השורשים מטמפרטורת הסביבה היא חדשנית וייחודית, ולהערכתנו – ברת יישום. הצלחה, אם תושג בפלפל, תביא לבחינה מיידית של הרעיון והטכנולוגיה בגידולים נוספים, בערבה ובמקומות אחרים.

התמורות הצפויות בחקלאות הערבה מהטכנולוגיה המוצעת הן רבות ומפורטות להלן:
תמורה טכנולוגית – חסכון בתשומות: המעבר לגידול במצעים מנותקים ינתק את הצורך בקרקע חקלאית והכשרתה ויאפשר הרחבת הענף בלי קשר עם זמינות עתודות קרקע. השימוש במצע מנותק יקטין את עלויות חיטוי הקרקע. מיחזור מי ההשקיה יביא לחסכון במים והבקרה המתמדת תביא לאופטימיזציה של התשומות בגידול ולשליטה מלאה בהן. שליטה על הטמפרטורה במצע הגידול צפויה להביא להארכת משך גדול הפלפל בחממות בלתי מבוקרות ובתי רשת.

תמורה ביבולים ובתפוקות: כאשר הקרינה והטמפרטורות בחממות או בתי רשת של פלפל מגיעים לערכים קיצוניים ישנו עיכוב בהנבה ומופיעים פגמים פיזיולוגיים שונים בפרי. בבתי רשת ובחממות לא מבוקרות היבול הממוצע בערבה הוא כ – 8 טון/דונם בהתאמה והפגמים מפחיתים את היבול המסחרי. בחממה מבוקרת ניתן להגיע ליבולי שיא של 20-23 טון/דונם ותוך מזעור הפגמים. פיצוי חלקי של עקות חום וקור באוויר על ידי שליטה בטמפרטורת המצע יכול לאפשר הארכת העונה ולהגדיל היבול ללא להידרש להשקעות הכרוכות בהקמת חממה מבוקרת אקלים.

שינוי מחירים: פלפל באיכות גבוהה פודה מחירים גבוהים בכ- 30 עד 60 אחוז מאשר פלפל באיכות נמוכה (שוק מקומי). שליטה מלאה בממשק המים וההזנה ובטמפרטורת המצע עשויה להפחית נזקים לאיכות הפרי ולשפר הרווחיות. הארכת משך הקטיף והבטחת השיווק לאורך תקופה ארוכה עשויים להבטיח אמינות ויציבות למוצר במחיר גבוה לאורך כל העונה.
תמורה אקולוגית: המעבר למצע מנותק ולבקרה מרבית של התשומות יפחיתו במידה רבה את כמויות הדשן וחמרי ההדברה שבשימוש החקלאים, יקטינו סכנת חדירת מזהמים לקרקע ולמי התהום ויקדמו את התאמת חקלאות הערבה לתקנים המחמירים של השוק האירופי (ובכך יש גם יתרון כלכלי בלתי מבוטל).

3.1. מטרות המחקר בשנת 2003/4

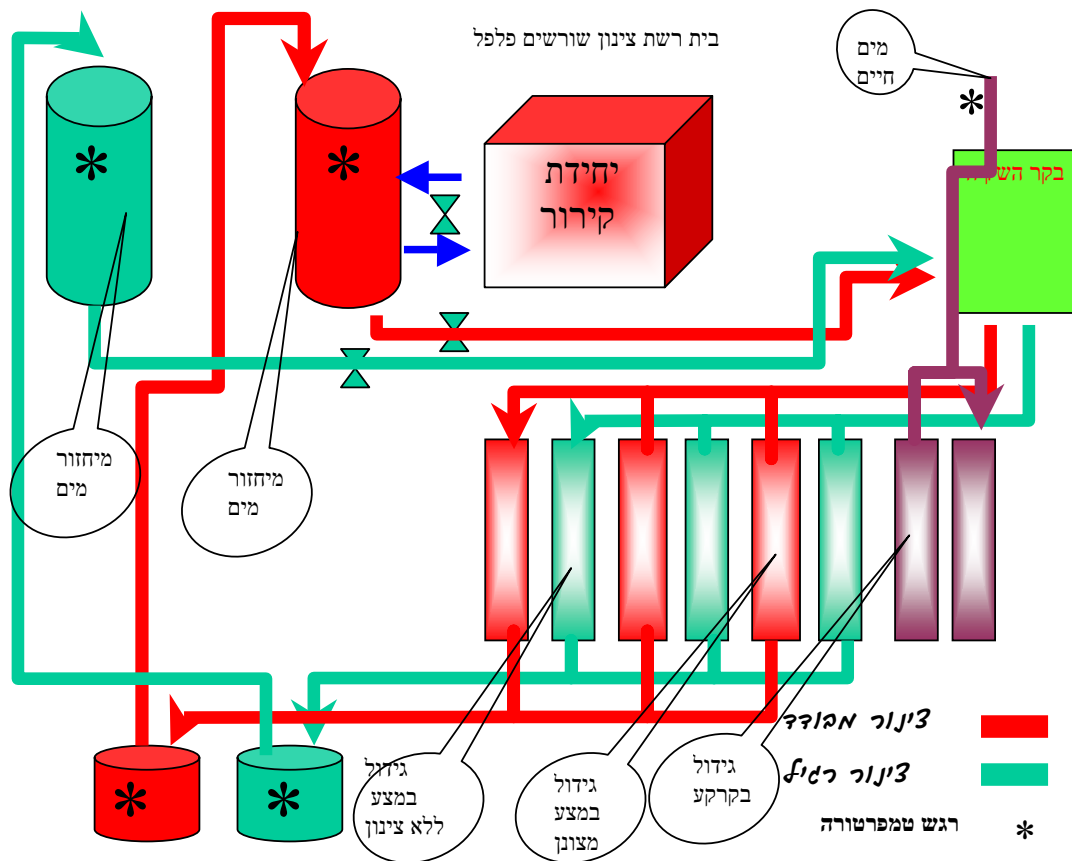
1. בחינת השפעת טמפרטורת בית השורשים על קליטת מים ומינרלים, ולימוד השפעת הטמפרטורה בבית השורשים על התפתחות השורש והנוף, היבול ואיכות הפרי.
2. פיתוח ושכלול הטכנולוגיה לבקרה ושליטה על טמפרטורת מצע הגידול.
3. בחינה כלכלית ראשונית של המערכת.

2. חומרים ושיטות

1.2. שלבי ביצוע ולוח זמנים

שלב א' – תכנון והקמה של מערכת קירור מי ההשקיה עבור ניסוי בקנה מידה קטן (ינואר-מאי 2003).
שלב ב' – שיפור ניקוז, כיסוי השטח המיועד למצע מנותק ביריעות "פלריג" לבנות (כמו בחממות), הצבת מארזי קלקר והחלפת מצע הגידול לפרלייט-2. בחינת ביצועי מערכת הצינון על טמפרטורת מצע, ללא צמחים. קביעת פרמטרים ודרישות מהמערכת (יוני – יולי 2003).
שלב ג' – ניסוי עיקרי. שתילה מוקדמת (20 באוגוסט) ומעקב אחר השפעת טמפרטורת מצע של 22 מ"צ על התפתחות צמחי פלפל, יבול ואיכות פרי, צריכת מים ודשן, תגובה למליחות המים. כל זאת, כמובן, בהשוואה לביצועי מערכת מחזור שאינה מבוקרת טמפרטורה, גידול במצע מנותק ללא מחזור, גידול בקרקע בהשקיה במי נקז וגידול רגיל בקרקע (אוגוסט 2003 – יוני 2004).

2.2. מערכת המחזור ובקרת הטמפרטורה



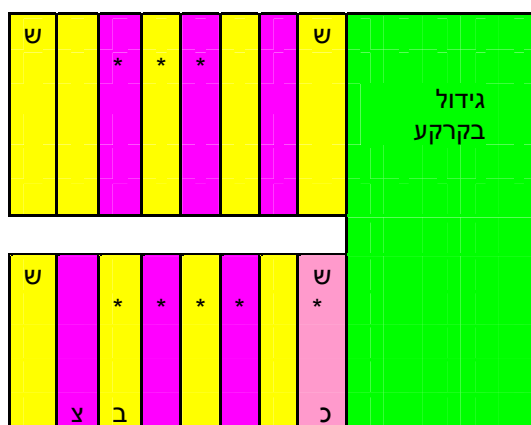
ציור מס' 1: סכימה של מערכת מיחזור וצינון מי ההשקיה

מי ההשקיה (2.2 דס"מ) מגיעים ל-3 מכלים בנפח 5 מ"ק כל אחד. המיכל שיועד למי השקיה מצוננים בודד חימונית, כמו גם רוב הצנרת היוצאת ממנו וחוזרת אליו. צינון המים מבוסס על מדחס הקשור למכל ביניים מבודד בנפח 200 ליטר השומר על טמפרטורה של כ-5 מ"צ. צנרת מים המתפקדת כמחליף חום מפותלת בתוך מכל זה ובתוך מכל מי ההשקיה ומסחררת מים כמערכת סגורה. בקרת פעולת המדחס היא לפי טמפרטורת מכל הביניים בעוד בקרת משאבת הסחרור היא לפי טמפרטורת המים במכל ההשקיה (18 מ"צ). טמפרטורת מצע הגידול הרצויה בטיפול הצינון

נקבעה ל- 22 מ"צ והיא נשמרת ע"י תכיפות ההשקיה או שינוי טמפרטורת המים במיכל ההשקיה, בהתאם לצורך.

מי ההשקיה יוצאים ממכלי המים הגדולים לחלקות הניסוי המיועדות בפולסים רבים וקצרים במשך כל תקופת ההארה ביממה (0600-1800). מי הנקז נאספים לאורך שורות המארזים ומוחזרים למכלי איסוף בהתאם לטיפול (צינון וביקורת). עם התמלא מכל איסוף הנקז, מוחזרים המים אוטומטית למכל מי ההשקיה המתאים. בכל לילה מתבצעת התאמת נפח מי ההשקיה במכלים ע"י הוספת מים טריים בהתאם לחסר. רמת המליחות וריכוזי הדשן במי ההשקיה נבדקים כמעט מידי יום ובהתאם לכך נקבעות מנת הדישון וכמות המים המוקזת ומוחלפת במים טריים.

3.2. ניסוי 2003/4



ציור מס' 2: מפת הניסוי. צ – צינון מצע, ב – בקורת מצע מנותק, כ – מצע מנותק מחופה ללא צינון, ש – שוליים.

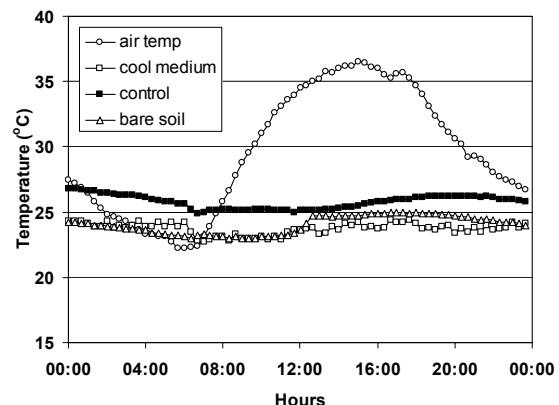
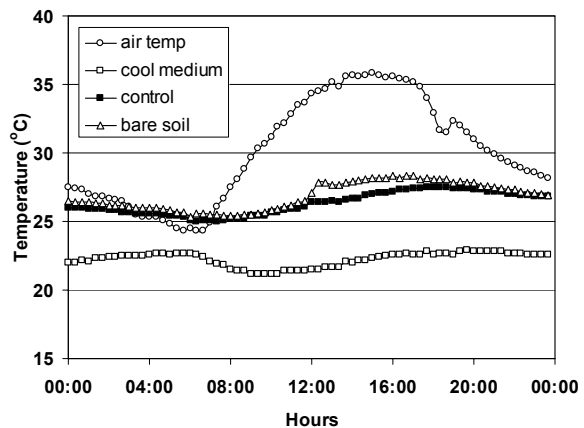
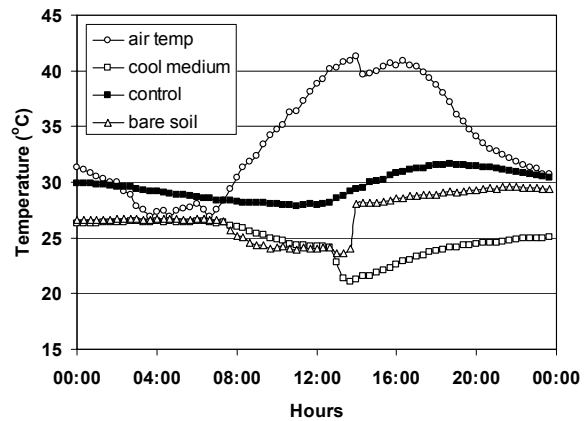
התקנת מערכות מחזור מי ההשקיה ובקרת טמפרטורת המצע ובדיקתן הושלמו ביולי 2003. המערכת הורצה ללא צמחים במהלך אוגוסט כדי להתאים את משטר השקיה לטמפרטורה הרצויה במצע. צמחי הפלפל נשתלו ב- 20/08/03 לאחר ייצוב הטמפרטורה הרצויה. כל טיפול כלל 6 חזרות (מלבד חלקת תצפית אחת למארזי מצע מחופים ללא צינון) ששטחה של כל אחת – 22.4 מ"ר (ראה מפה בציור 2). צפיפות השתילה היתה 5 צמחים למטר ערוגה, 1.60 מ' בין הערוגות, כמקובל בקרב המגדלים. נערך מעקב אחר התפתחות הצמחים, גובהם ומועדי פריחה וחנטה ראשוניים. עם תחילת הקטיפה נספרו כל הפירות מחלקות קטיפה סטנדרטיות מוגדרות מראש, נשקלו ואיכותם שוקללה לפי הפרמטרים המקובלים ליצוא.

3. תוצאות

1.3. צינון המצע ומחזור מי ההשקיה

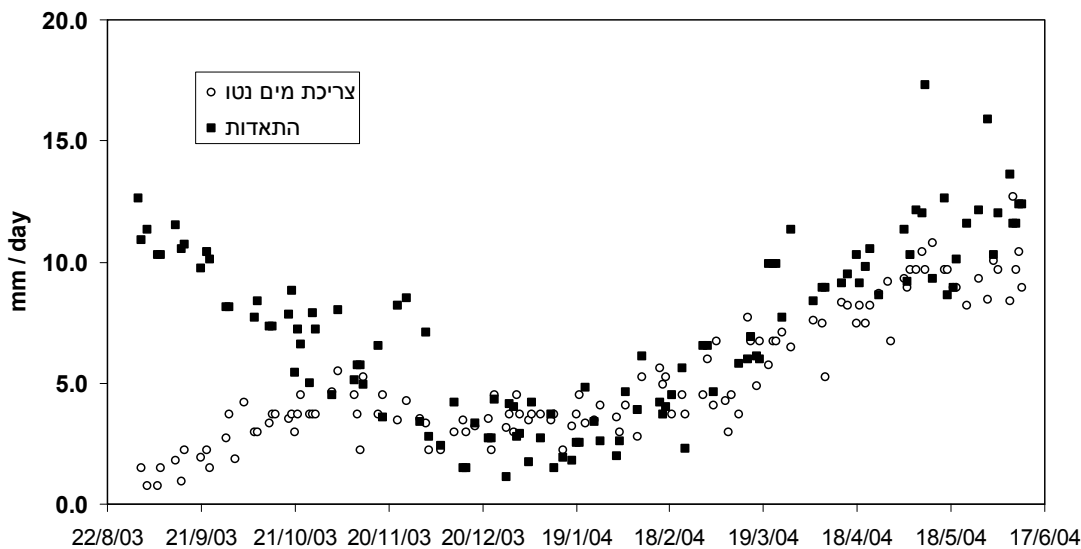
צינון מצע הגידול ושמירת הטמפרטורה הרצויה בו הצליחו לאורך כל העונה. מהנסיונות בטרם השתילה ניתן ללמוד על השפעת טמפרטורת מי ההשקיה על טמפרטורת מצע הגידול. מי השקיה חמים מעלים את טמפרטורת מצע הגידול באופן מיידי וניכר (ציור מס' 3, 19/08/03). ניתן לזהות את מועדי ההשקיה בבוקר (06:00) ובצהריים (13:00) לפי תגובת טמפרטורת המצע או הקרקע. מים צוננים, מאידך, מורידים את טמפרטורת המצע מיידי. שמירה על טמפרטורה יציבה הצריכה השקיה תכופה של פולסים קצרים. כחודש לאחר השתילה היתה הטמפרטורה יציבה ונוצר הבדל קבוע של 4-6 מ"צ בין הבקורת לטיפול הצינון.

ציור מס' 3: מהלך יומי מייצג של טמפרטורת האוויר, טמפרטורת המצוץ, מצע הביקורת וטמפרטורת הקרקע בערוגת פלפל בבית הרשת בו בוצע הניסוי ב- 2003/4. מובאים מהלכים יומיים לדוגמה מהתקופה שבטרם השתילה (למעלה, 19/08/03), כחודש לאחר השתילה (במרכז, 23/09/03) ולקראת תום הניסוי בקיץ הבא (למטה, 08/06/04). ניתן להבחין בהשפעת מועדי ההשקיה היומיים על טמפרטורת המצע או הקרקע, במיוחד במועד הראשון. בתחילת הגידול בסוף קיץ 2003 נשמר הפרש של 4-6 מ"צ בין טיפולי הבקורת לטיפול הצינון. הפרש זה היה קטן ופחות משמעותי באביב ותחילת קיץ 2004, בשלהי הגידול.



המהלך היומי של טמפרטורת הקרקע ומצע מקיים היסטריזיס ביחס לטמפרטורת האוויר ושיאו מאחר בכ- 4 שעות (18:00 לעומת 15:00) (ציור מס' 3, 23/09/03). הצינון הופעל עד אמצע נובמבר, כאשר טמפרטורת המצע בטיפולים השונים השתוותה ולא היה טעם להוסיף ולצנן. טיפול הצינון חודש באפריל 2004, אך נראה שלא נוצר הבדל משמעותי בין הטיפולים (ציור מס' 3, 08/06/04). הסיבה לכך היא, כנראה, הצללת הקרקע או מארזי המצע ע"י הנוף הגדול של הצמחים וכן הקצב האיטי יחסית של התחממות הקרקע בתחילת הקיץ.

צריכת המים במהלך כל עונת הגידול היתה כ- 1280 מ"ק לדונם בשני טיפולי המיחזור. שיעור הנקז הממוצע היה כ- 80% תוך שמירה על סף הקזה של כ- 5 דס"מ. ערכי מוליכות מי הנקז נעו משך רוב העונה בין 3.5 ל- 5 דס"מ, למעט חריגים שתוקנו ע"י שטיפה והדחה תוך זמן קצר. בהשקיה בקרקע, לעומת זאת, נתנו כ- 1580 מ"ק לדונם (לא כולל השקיה טכנית של 150 ק' לד') וערכי מוליכות תמיסת הקרקע נעו בתחום שבין 3-4 דס"מ. השליטה ברמות הדשן במצע היתה יעילה פחות והתנודות היו חריפות מאוד.



ציור מס' 4: השוואת ערכי ההתאדות מגיגית לצריכת המים בפועל של טיפולי מחזור מי ההשקיה, כפי שחושבה ע"י הפחתת כמות מי הנקז מכמות מי ההשקיה על בסיס יומי.

בציור מס' 4 ניתן לראות, שצריכת המים בפועל ע"י צמחי פלפל הגדלים במצע מנותק ובמחזור מי ההשקיה היא דומה או נמוכה מרמת ההתאדות היומית מגיגית (כפי שנמדדה בתחנה המטאורולוגית). ההפרש בתחילת העונה נובע מגודל הצמחים ובסיומה – מגילם. הדמיון בערכים משך רוב העונה מעיד על כך, שהצמחים אינם חווים עקת מים במשטר ההשקיה הזה.

2.3. השפעת הטיפולים על גדילת הצמחים והתפתחותם

בתחילת עונת הגידול ולפני כניסת הצמחים לשלב הרפרודוקטיבי לא נמדד הבדל משמעותי בין שני טיפולי מחזור המים בפרמטרים כמו גובה הצמחים, הסתעפות, משקל נוף, גודל עלים וכד'. לעומת זאת בטיפול הקרקעי המקביל התפתחו הצמחים באיטיות יחסית ופגרו בגודלם בהשוואה לטיפול מחזור המים.

הפריחה החלה כ- 5 שבועות לאחר שתילה בכל הטיפולים. חנטת פרי בשני גלי הפריחה הראשונים איננה משמעותית בדרך כלל וכך היה גם בניסוי זה. לעומת זאת נראה, שגל הפריחה השלישי חנט טוב יותר בצמחי מצע הבקורת ואילו בצינון השרשים הופלו רוב הפרחים לחנטים של גל זה באופן טבעי. החל ממועד זה הסתמן יתרון מסויים לצמחי צינון השרשים מבחינת גודל הצמח וגובהו. יתרון זה נראה בעין אך נמדד ישירות ונמצא מובהק רק באביב 2004 (טבלה מס' 1).

טבלה מס' 1: גובה צמחי פלפל במצע מנותק ומחזור מי ההשקיה, צינון שרשים לעומת בקורת, כפי שנמדד ב- 15/04/04 מפני המצע עד אמיר הצמיחה.

טיפול	גובה הצמח (ס"מ) \pm SE
בקורת	4.2 \pm 158
צינון שרשים	3.6 \pm 174

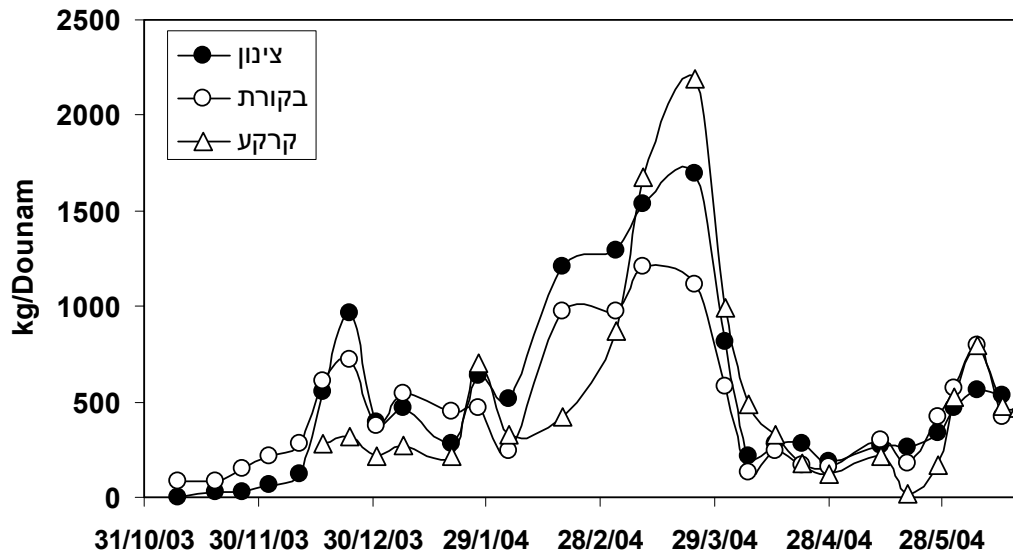
3.3. יבול ואיכות פרי

עם סיכום עונת הגידול במחצית יוני 2004 התברר, שצינון השרשים הניב יבול רב יותר (תוספת של כ- 13%) באופן מובהק בהשוואה לבקורת מצע מנותק ללא צינון (טבלה מס' 2).

טבלה מס' 2: סיכום יבול הפלפל בניסוי מצע מנותק בבית רשת, עונת 2003/4 בתחנת יאיר.

טיפול	יבול כללי (טון לדונם)	גודל פרי ממוצע (ג')	שיעור יצוא (%)	יבול יצוא (טון לדונם)	מספר פירות יצוא (אלפי פירות לדונם)
צינון שרשים	0.225 \pm 13.875	2.04 \pm 189.5	50.2	0.097 \pm 6.950	0.6 \pm 36.6
בקורת	0.353 \pm 12.307	1.99 \pm 182.2	50.0	0.192 \pm 6.143	1.2 \pm 33.8
גידול בקרקע	0.211 \pm 12.277	188.2	52.0	0.231 \pm 6.386	0.8 \pm 33.9

צינון השורשים הניב פרי גדול יותר בכ- 7 ג' לפרי (הפרש קטן אך מובהק), אך לא נמצאו הבדלים משמעותיים נוספים מבחינת איכות הפרי. היבול ליצוא עלה בכ- 800 ק"ג לדונם, אך שיעורו ביבול הכללי לא עלה. יבול הפלפל שגודל בקרקע בבית הרשת היה דומה מאוד לזה של הבקורת הבלתי מצוננת (טבלה מס' 2).



ציור מס' 5: מהלך הקטיף בעונת 2003/4 בניסוי פלפל בבית רשת בתחנת יאיר בערבה

מהלך הקטיף בטיפולי מחזור מי ההשקיה היה גלי, אופייני לגידול פלפל בבתי רשת בערבה. לאחר גל משמעותי אך קצר בדצמבר חלה דעיכה מסוימת והתייצבות בינואר ולאחריה גל הקטיף העיקרי בפברואר מרץ. גל קטיף נוסף הופיע ביוני, תוצר חנטה מחדשת באביב. היתרון של צינון השורשים ביבול התבטא בגל הקטיף העיקרי (ציור מס' 5). בטיפול הקרקעי, לעומת זאת, החל הקטיף מאוחר מאוד, במחצית דצמבר, ושמר על רמה נמוכה (למעט מועד קטיף יחיד) עד תחילת מרץ. למעשה היה רוב היבול מרוכז בחודש מרץ 2004 ובקטיף משמעותי נוסף ביוני (ציור מס' 5).

4. מסקנות

מהבחינה הטכנית, מערכת צינון פעלה ללא דופי ומסוגלת לספק שליטה מוחלטת בטמפרטורת מצע הגידול בתחום הרצוי (ציור מס' 3). מבחינת ההשפעה על התפתחות צמחי הפלפל והיבול, היה יתרון מסוים לצינון השורשים, אך זה היה נמוך מאוד ביחס לציפיות. לעומת זאת היה יתרון ברור לטיפול המצע המנותק בפזיזור הקטיף על פני עונה ממושכת יותר בהשוואה לגידול בקרקע. למעשה, יבול הגידול בקרקע רוכז בחודש אחד (כ- 50% מהיבול נקטפו בחודש זה) בעוד במצע מנותק נוצרו גלי קטיף מוקדמים משמעותיים (לפחות חצי טון לדונם בכל קטיף) מאמצע דצמבר עד סוף מרץ (ציור מס' 5). לפזיזור הקטיף והשיווק על פני תקופה ארוכה יש יתרונות כלכליים ברורים. נראה שבכל זאת נוצר פוטנציאל הנבה גבוה יותר בטיפול הצינון, אך זה לא מומש במלואו ובזמן המתאים. בשנה הקרובה נבחן שילוב של צינון בתחילת העונה וחימום מצע הגידול במהלך החורף, על מנת להעלות עוד את יבול הפרי הנקטף במהלך ינואר (ציור 5) ואולי אף לשפר את איכות הפרי.

שיעורי היצוא בניסוי זה נמוכים באופן משמעותי מאוד בהשוואה לאלה של המגדלים. הסיבה לתופעה זו נובעת מהקפדת יתר בעת המיון בתחנה.

תרומת הניסוי היא בהוכחת יתרון מערכת מצע מנותק ומיחזור מים בהקשר ליעילות ניצול המים והחסכון במשאב מוגבל זה. כמות המים שניתנה בפועל היתה נמוכה בכ- 450 מ"ק לדונם, המהווים כ- 26% מהכמות הניתנת בגידול בקרקע בתנאים דומים. זמינות המים לצמח היתה

מירבית (כ- 80% נקז במוצע לאורך העונה) והצמחים אינם חווים עקת מים (ציור מס' 4) גם בתנאים הקשים בערבה בקיץ. השימוש במצע מלאכותי מנוקז היטב מאפשר השקיה כמעט רציפה ללא חשש למחסור בחמצן והדחה מלאה ומבוקרת של המלחים. בקרקע הטבעית, לעומת זאת, חלק גדול מכמות מי ההשקיה משמש להדחת עודפי המלחים, אך לא ניתן להפריז בכמות המים מחשש לנזקי הצפה. במערכת מחזור מי ההשקיה, כל ליטר מים חולף דרך מצע הגידול כ- 4 עד 5 פעמים ובכך טמונה יעילות השיטה. יצויין גם, שרוב כמות המים (כ- 60%) נצרכת בשלהי עונת הגידול (אפריל-יוני) וכדאי לבחון לאור זאת את כדאיות "משיכת" הגידול לעונה זו.

כאשר מכסות המים מהוות מגבלה חריפה, מאפשרת שיטת הגידול במצע מנותק ומחזור המים הגדלת שטחי הגידול. עם זאת, מערכת זו היא יקרה למדי. דרוש תחשיב מפורט, שישקלל את התשומות הנוספות הנדרשות עם ההכנסה הצפויה, כדי לבחון את כדאיות השיטה בהיבט הכלכלי הכולל.