

**גידול בזיל חורפי בעמק המעינות (בית-שאן) ע"י קליטה, אגירה ושימור של אנרגיית השמש**  
**Winter Sweet Basil cultivation in the "Mayanot" (Beit-Shan) Valley by absorbing**  
**and conserving of solar energy**

**מוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות ולהנהלת ענף ירקות**

ציון דקו ודוד שפירא, מו"פ עמק המעינות  
דוד סילברמן, שרות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות  
יוסף טנאי, אורי אחימן, האו ליאנג, שבתאי כהן, המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי  
אורי אדלר, מועצת הצמחים

Zion Deko and David Shapiro, Eden Research center, Mayanot Valley R&D; David Silverman, Israeli Extension service, Ministry of Agriculture, Israel; Josef Tanny, Shabtai Cohen, Ori Achiman and Hao Liang, Institute of Soil, Water & Environmental Sciences, ARO, Bet Dagan, Israel; Uri Adler, Israeli Plant Board

**תקציר**

בהמשך לסדרה תצפיות שנערכו בחוות עדן בשנים 2008-2012, נבחנה במערכת ניסויים האפשרות לגדל בזיל מתוק במהלך החורף ע"י ניצול אנרגיית השמש ללא צורך בהשקעת אנרגיה בחימום. בניסויים נבחנו גידול בזיל בחורף במנהרה עבירה עם חיפוי קרקע כטיפול ביקורת בהשוואה למנהרה עם כיסוי פלסטיק כפול או כיסוי פנימי של רשת אגריל, עם וללא קיר של עמודי מים בנפח 8 מ"ק מים ומנהרה עם שרוולי מים מונחים על הקרקע. בשנת הניסוי הראשונה נתקבלה הכפלה ביבול הבזיל כטיפול הכיסוי הכפול ושילוש במנהרות שכוללות גם קיר מים בהשוואה לביקורת. נבדקה איכות היבול בבדיקות אחר קטיפה והתקבלה השפעה חיובית לכל הטיפולים בהשוואה להיקש. בנוסף לנתוני היבול וחיי מדף נאספו נתונים אקלימיים שכללו מדידת טמפרטורת אויר, טמפרטורת קרקע, לחות יחסית מאזן קרינה כוללת, שטף חום לקרקע, שטף קרינה נטו וצילומי IR לבדיקת טמפרטורת נוף הצמחים במהלך הלילה. בעזרת מדדים אילו הוגדרו הגורמים שעשויים להשפיע על ההבדלים ביבול שהושגו. בשנת הניסוי השנייה התרחשה הינגעות קשה של המנהרות בכמותית הבזיל שפסלה חלק מהחלקות לשיווק ולכן הן לא נקטפו ונשקלו בזמן. מסיבה זו לא מוצגות תוצאות יבול לשנה ב'. בשתי עונות המדידה, טמפרטורת הלילה במנהרה עם קיר המים והכיסוי הכפול הייתה גבוהה ב- 4-5 מ"צ ביחס למנהרת ביקורת. ניכר כי התרומה של הכיסוי הכפול ושל קיר המים לאגירת החום במבנה היא יחסית זהה ותרומתם לאגירה הכללית היא שקולה. לא נמצא יתרון לשימוש ביריעת אגריל מבחינת צבירת אנרגיה. חישוב שטפי אנרגיה הראה כי קיר המים אוגר חום במהלך שעות היום ומגיע לשיא בסביבות השעה 13:00-14:00. החל משעות הערב הקיר מתחיל לפלוט את החום החוצה ומגיע לשלב שבו קצב איבוד החום הוא אחיד יחסית למשך שעות הלילה.

**הצהרת החוקר הראשי:**

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.  
הניסויים אינם מהווים בסיס להמלצות למגדלים שמופצות בעזרת מדריכי שרות ההדרכה והמקצוע של משרד החקלאות.

חתימת החוקר \_\_\_\_\_ תאריך \_\_\_\_\_

## **מבוא**

גידול תבלינים לייצוא הוא מרכיב מרכזי בסל הגידולים של מושבי עמק המעינות (בית שאן). מתוך סל גידולי התבלין מהווה הבזיל המתוק כ-50%. הבזיל, גידול טרופי במוצאו, רגיש מאוד לחשיפה לטמפרטורות נמוכות ונהוג לגדלו בטמפרטורה של מעל 16 מעלות צלזיוס. עם עליית מחירי האנרגיה והגברת המודעות הסביבתית של הלקוחות באירופה נוצר צורך ממשי למציאת חלופות שיאפשרו גידול ללא צורך בהשקעת תשומות אנרגיה המבוססות על דלק מחצבי. בשנים האחרונות נערכה סדרה של תצפיות בחוות עדן שהוכיחה היתכנות לגידול בזיל בחורף בסיוע אמצעים לצבירת אנרגיה שמש במהלך היום ושחרורה בשעות הלילה. בעבודה זו נבחנה השיטה תוך לימוד מעמיק של המנגנונים הפיזיקליים המעורבים כשהיעד הוא פיתוח מודל שיאפשר לחזות את תרומתם של אמצעי צבירת האנרגיה השונים.

נבחנו השיטות הבאות: 1. קיר של עמודי מים המוצבים בצידה הצפוני של המנהרה; 2. שרוולי מים שוכבים; 3. כיסוי מנהרה כפול; 4. מנהרה המכוסה בשמיכה טרמית בלילה ומצויידת בעמודי מים העשויים דליים לצבירת חום ואגירתו.

הרעיון להתקנת קיר שמבוסס על שרוולי פוליאטילן מלאים במים, עומדים בצידה הצפוני של המנהרה, מבוסס על החממה הסינית בה הקיר הצפוני עשוי מלבני בוץ. כאן הוחלף קיר הבוץ בשרוולי מים עומדים תוך ניצול תכולת החום הגבוהה יותר של המים. התוצאה היא ירידת מה בטמפרטורה היומית ובתמורה האטה משמעותית בקצב ירידת הטמפרטורה בלילה. כחלופה לקיר הבנוי משרוולי מים נבדקו גם שרוולי מים שוכבים במרכז הערוגות ובתצפית ראשונית נבדקו עמודי מים עשויים מדליים שחורים שמעורמים אחד על השני לכדי יצירת עמוד. כן נבדק כיסוי המנהרה בלילה בשמיכה בעלת בידוד טרמי שתאט את קצב איבוד החום מהמנהרה.

במהלך תקופת הניסוי הופיעה בארץ מחלה פטרייתית חדשה – כשותית, שתקפה את הגידול בשנת המחקר השנייה ושיבשה את תוצאות היבול. מחלת הכשותית נחקרת במקביל ודווחה במסגרת מיזם כשותית הבזיל שמנוהל ע"י ד"ר יגאל אלעד ומדווח בנפרד.

מטרות המחקר: 1. פיתוח ממשק גידול שיאפשר גידול בזיל איכותי ליצוא בחורף בעמק המעינות ללא צורך בשימוש בחימום מבוסס דלק. 2. אפיון המאזן האנרגטי בטיפולים השונים תוך הבנת המנגנונים הפיזיקליים המעורבים.

## **פירוט עיקרי הניסויים והתוצאות:**

**מבנה הניסוי:** המחקר בוצע בשנה א', בסתיו 2012 וחורף 2013, ובשנה ב' בסתיו 2013 וחורף 2014 בחוות הניסויים עדן של מו"פ עמק המעינות. נערך ניסוי חד כיווני במספר חזרות משתנה (ראה טבלאות 1-2). הניסויים בוצעו ב-10 מנהרות עבירות בגובה 2.8 מ' ששטח כל אחת מהן 180 מ"ר (מפתח של 6 מטרים ואורך 30 מטרים), שהוצבו כשכיוון המפנה מזרח-מערב. בתוך 4 מהמנהרות הותקן קיר של שרוולי מים בצדן הצפוני. מועד השתילה של הבזיל: שנה א': 30.11.2031, שנה ב': 4.11.2014. שתילה בעומד 3 ערוגות ברוחב 2 מ' ממרכז ערוגה למרכז ערוגה. על כל ערוגה נשתלו 4 שורות, 20 שתילים למטר ערוגה. במנהרות הונהג ממשק אוורור אחיד: המנהרות נפתחו כל בוקר בשעה 10.00 ונסגרו בשעה 13.00. המרחק בין המנהרות 2 מ'.

**טבלה מס' 1.** פרוט הטיפולים ומספר החזרות בשנה א'. כל הטיפולים עם חיפוי קרקע.

טיפול	מספר חזרות	קיר מים	גג כפול פלסטיק	שרוולי מים שחורים
ביקורת- כיסוי יחיד	3	-	-	-
קיר מים כיסוי כפול	2	+	+	-
קיר מים כיסוי יחיד	2	+	-	-
שרוול מים כיסוי יחיד	1	-	-	+
כיסוי כפול	1	-	+	-
שרוול מים כיסוי כפול	1	-	+	+

**טבלה מס' 2.** פרוט הטיפולים ומספר החזרות בשנה ב'. כל הטיפולים עם חיפוי קרקע.

טיפול	מספר חזרות	קיר מים	גג כפול: פלסטיק	גג כפול: אגריל	כיסוי שמיכת גג
ביקורת- כיסוי יחיד	3	-	-	-	-
קיר מים כיסוי פלסטיק כפול	2	+	+	-	-
קיר מים כיסוי פלסטיק + אגריל	2	+	-	+	-
כיסוי כפול	2	-	+	-	-
קיר מים + כיסוי שמיכת גג	1	+	-	-	+

**דישון והשקיה:** בוצע באופן אחיד בכל הטיפולים על פי המקובל באזור.  
**הגנת הצומח:** המנהרות נוטרו באופן סדיר ומעקב נעשה אחרי רמת המחלות- כשותית, קשיוניה גדולה ובוטריטיס. תוצאות אילו מדווחות בדו"ח מחקר נפרד על ידי פרופ' יגאל אלעד.

#### **מדידות שבוצעו במהלך העונה:**

- 1. מדידות יבול ואיכות:** הקטיפ בוצע על ידי מגדל וצוותו כשכל הבזיל שנקטף נשקל ביציאה מהמנהרה. בשנה א', משלושה מועדי קטיפ 2013-2-5, 2013-2-10 ו-2013-3-21 נשלחו דגימות תוצרת לבדיקות איכות במחלקה לאחסון פירות וירקות של מנהל המחקר החקלאי. לא נקטף יבול בשנה ב'.
- 2. מדידות מיקרו-אקלים ומאזן קרינה במנהרות:** בכל מבנה הוצב אוגר נתונים מסוג HOBO עם שלושה חיישנים- למדידת טמפרטורת אויר, טמפרטורת קרקע ולחות יחסית. בשנה ראשונה, צילומי IR בוצעו באמצעות מצלמה טרמית מדגם: FLIR P- Series Infrared Cameras במהלך שני לילות (2013-2-3 ו-2013-3-19) במנהרות נבחרות (אחת מכל טיפול). הצילומים בוצעו אחת ל- 3-4 שעות במהלך יממה שלמה בכל מועד.

**מדידות מיקרואקלים ורכיבי אנרגיה בשנה הראשונה:** מדידות מיקרו-אקלים מפורטות בוצעו במנהרות ובתחנה חיצונית. המדידות נערכו במשך 28 ימים מ- 25 לפברואר ועד 23 למרץ 2013. המדידות כללו: חיישן פסיכרומטר לח יבש שמודד את הטמפרטורה של הגולה היבשה והגולה הלחה ובאמצעותו ניתן למדוד את הטמפרטורה של האוויר, ולחשב את הלחות היחסית והלחות המוחלטת. הקופסא והחיישנים נעשו בייצור עצמי במעבדה שבמכון וולקני. מדי הטמפרטורה הם מסוג תרמוקפל סוג T (נחושת-קונסטנטן). בקופסא מותקן מאוורר קטן שפועל באופן קבוע ותפקידו הוא לגרום לתחלופת אוויר סביב החיישנים. החיישנים הוצבו במרכז המנהרה על תורן בגובה 1.5 מטר. מד קרינה נטו הותקן במרכז החממה על גבי אותו התורן. מד הקרינה נטו הוא מסוג: Q\*7.1, REBS, Seattle, WA, USA שמודד את מאזן הקרינה הכוללת. מד שטף חום לקרקע הותקן בחממה 5. בתחנה החיצונית שהוקמה בסמוך למנהרות נמדדה גם טמפרטורת פני הקרקע בנוסף למדידת הפסיכרומטר והקרינה החיצוניים. מד טמפרטורה מסוג IRTC הוצב במנהרה 4

וכוון אל קיר המים במטרה לנטר את טמפרטורת קיר המים באופן רציף. כל הנתונים נמדדו ונאגרו באמצעות אוגר נתונים מסוג CR23X של חברת Campbell Scientific.

מדידות מיקרואקלים ורכיבי אנרגיה בשנה השנייה (טבלה 4 ואיור 2): מדידות נערכו בכל אחת ממנהרות הטיפול. המדידות נערכו מ- 27 לדצמבר 2013 ועד 8 למאי 2014. המדידות כללו: חיישן פסיכרומטר לח יבש שמודד את הטמפרטורה של הגולה היבשה והגולה הלחה ובאמצעותו ניתן למדוד את הטמפרטורה של האוויר, ולחשב את הלחות היחסית והלחות המוחלטת. הקופסא והחיישנים נעשו בייצור עצמי במעבדה שבמכון וולקני. מדי הטמפרטורה הם מסוג תרמוקפל סוג T (נחושת-קונסטנטן). בקופסא מותקן מאוורר קטן שפועל באופן קבוע ותפקידו הוא לגרום לתחלופת אוויר סביב החיישנים. החיישנים הוצבו במרכז המנהרה על תורן בגובה 1.2 מ' מעל פני הקרקע. מד קרינה נטו ומד קרינה גלובלית הותקנו במרכז החממה על גבי אותו התורן, בגובה 1.5 מ'. מד הקרינה נטו הוא מסוג: Q\*7.1, REBS, Seattle, WA, USA

שמודד את מאזן הקרינה הכוללת. מדי הקרינה הגלובלית היו מסוג: CM5, KIPP&ZONEN, The Netherlands; CM11, KIPP&ZONEN, The Netherlands; מד שטף חום לקרקע מסוג: HFT3, Campbell Sci. UT, USA, הותקן בכל מנהרה בעומק 5 ס"מ, וטמפרטורת הקרקע נמדדה ע"י חיישן תרמוקפל type T בעומק 2 ס"מ.

בתוך שרוולי המים הוצבו 5 חיישני תרמוקפל שמדדו את הפילוג האנכי של טמפרטורת המים בשרוול. החיישנים הוצבו בשרוול שנמצא במרכז המנהרה: במנהרה עם כיסוי כפול, ובמנהרה עם כיסוי פלסטיק + אגריל.

מערכת חיישנים ניידת נוספת כללה: NR01 4-Component radiation sensor, Hukseflux, The Netherlands, WindSonic 2-D sonic anemometer, Gill Instruments, UK, HFP01-05, HMP155; VAISALA; Finland, וחיישן שטף חום לקרקע מסוג: HUKSEFLUX, The Netherlands. המערכת הניידת (התקבלה בהשאלה מקבוצת מחקר גרמנית) הופעלה בסדר הבא: במנהרה עם כיסוי כפול וקיר מים, בוצעו מדידות קרינה נטו מול קיר המים בתקופה: 27 דצמבר 2013 עד 13 ינואר 2014; במרכז אותה מנהרה המערכת מדדה בתקופה: 13-26 ינואר 2014; במנהרה עם כיסוי פנימי אגריל וקיר מים: 26 ינואר עד 16 פברואר; במנהרה עם כיסוי שמיכת גג: 16-27 פברואר 2014; מנהרת ביקורת (כיסוי יחיד ללא קיר מים): 27 פברואר עד 23 מרץ; מנהרה עם כיסוי כפול ללא קיר מים: 23 מרץ עד 8 מאי. מערכת זו לא מופיעה בטבלה 4.

בתחנה החיצונית שהוקמה בסמוך למנהרות, במרחק 6 מ' מהן, נמדדה גם טמפרטורת פני הקרקע בנוסף למדידות הפסיכרומטר (בגובה 1.5 מ') והקרינה נטו והגלובלית נמדדו בגובה 2 מ'. כל הנתונים נמדדו ונאגרו באמצעות אוגר נתונים מסוג CR23X של חברת Campbell Scientific.

**טבלה מס' 3 :** פירוט מדידות מיקרואקלים בשנה הראשונה.

טיפול	פסיכרומטר לח יבש	מד קרינה נטו	מד שטף חום קרקע	טמפרטורת פני השטח	מד טמפרטורה מסוג IRTC
קיר מים כיסוי יחיד	+	+			+
קיר מים כיסוי כפול	+	+	+		
ביקורת כיסוי יחיד	+	+			
כיסוי כפול	+	+			
תחנה חיצונית	+	+		+	

**טבלה מס' 4 :** פירוט מדידות מיקרו-אקלים בשנה השנייה.

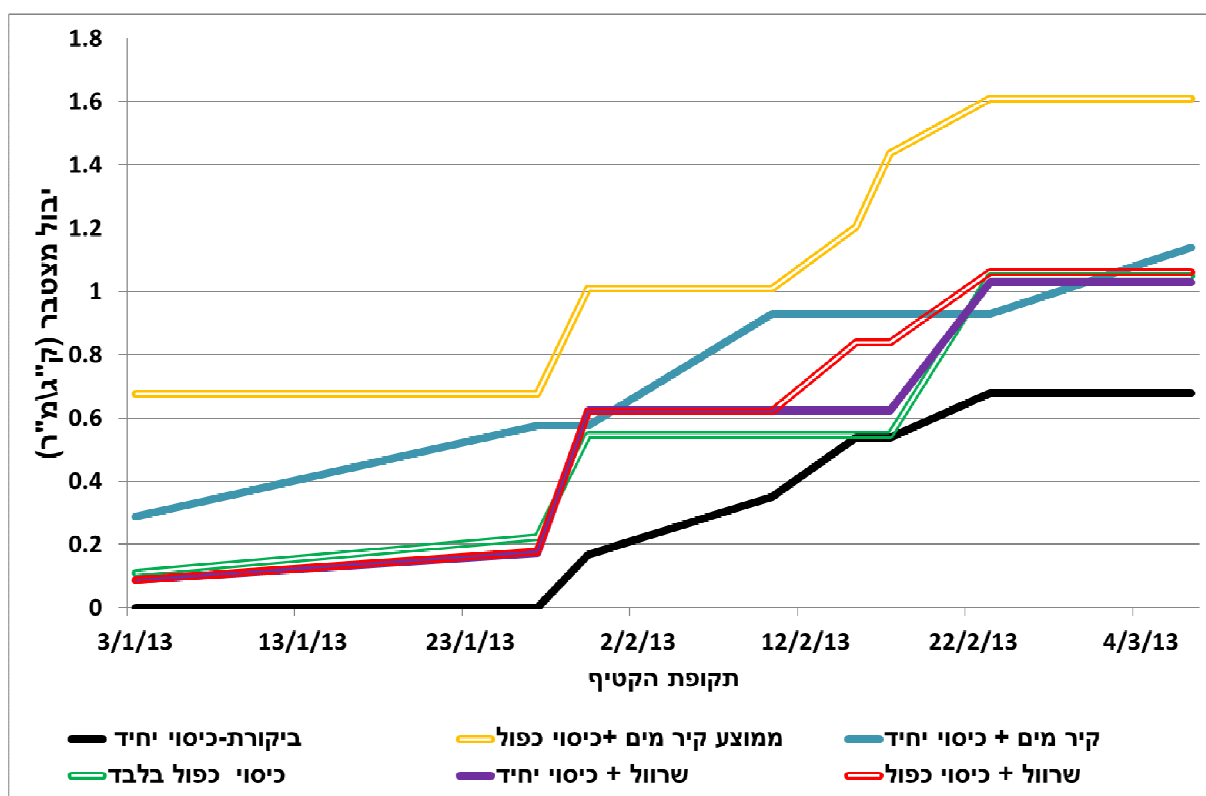
טיפול	פסיכרומטר לח יבש	מד קרינה נטו וקרינה גלובלית	מד שטף חום קרקע	טמפרטורת פני השטח של הקרקע	טמפרטורת פני השטח של שרוול המים	פילוג טמפ' בתוך שרוול המים
ביקורת כיסוי יחיד	+	+	+	+	-	-
קיר מים כיסוי כפול	+	+	+	+	+	+
כיסוי כפול	+	+	+	+	-	-
קיר מים + כיסוי אגריל ופולסטיק	+	+	+	+	+	+
קיר מים שמיכת גג	+	+	+	+	-	-
תחנה חיצונית	+	+	-	+	-	-



## תוצאות

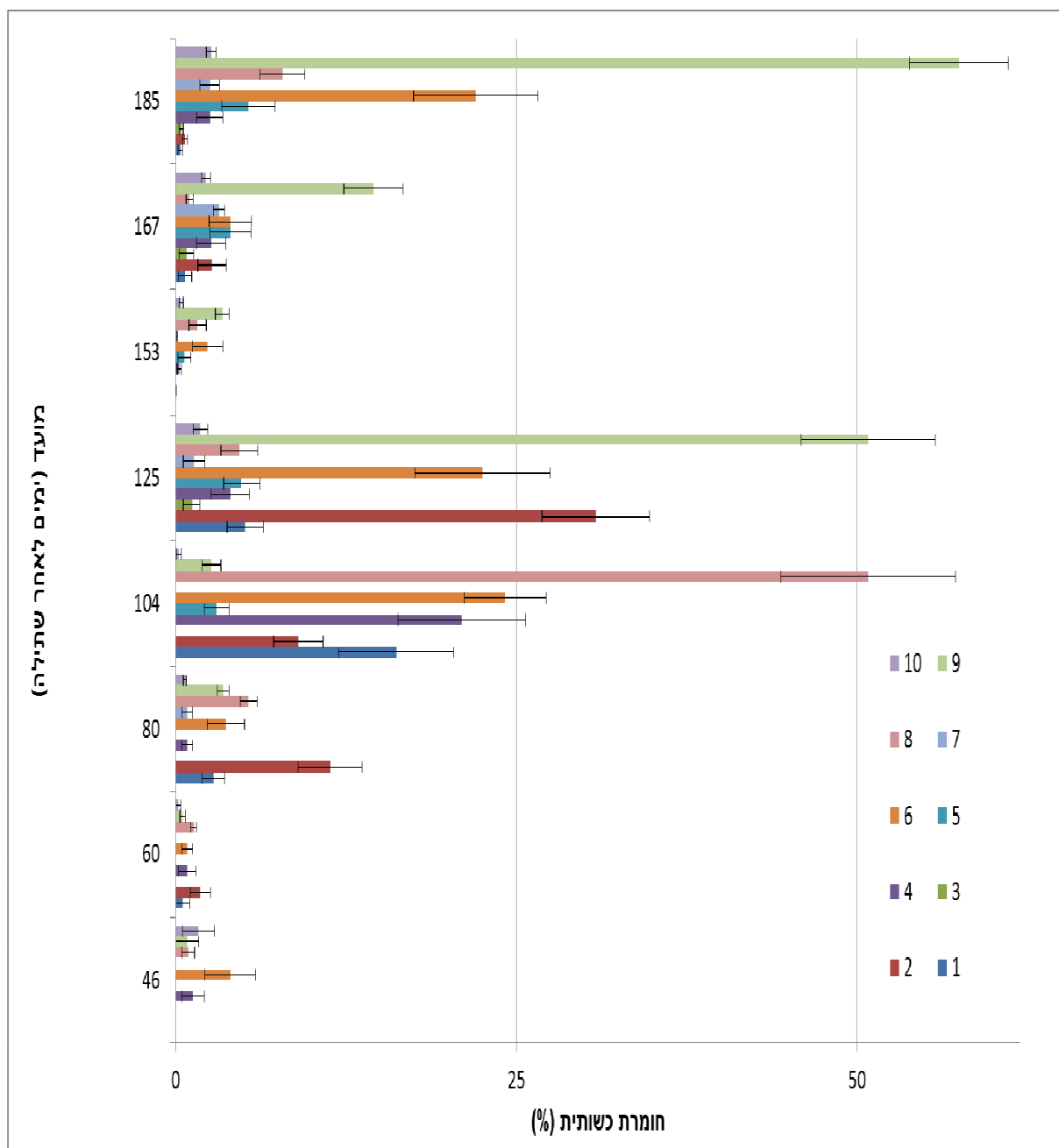
### יבול מצטבר

איור 3 מציג את היבול שהתקבל במהלך עונת הגידול הראשונה. הטיפול שבלט ביבול גבוה בכל מהלך הניסוי היה טיפול קיר המים עם הכיסוי הכפול. נחותים מעט היו כל הטיפולים שכללו או כיסוי כפול ללא קיר מים, או קיר מים עם כיסוי יחיד. טיפול הביקורת היה נחות ביבולו מכל הטיפולים וגם איחר משמעותית בקטיף הראשון.



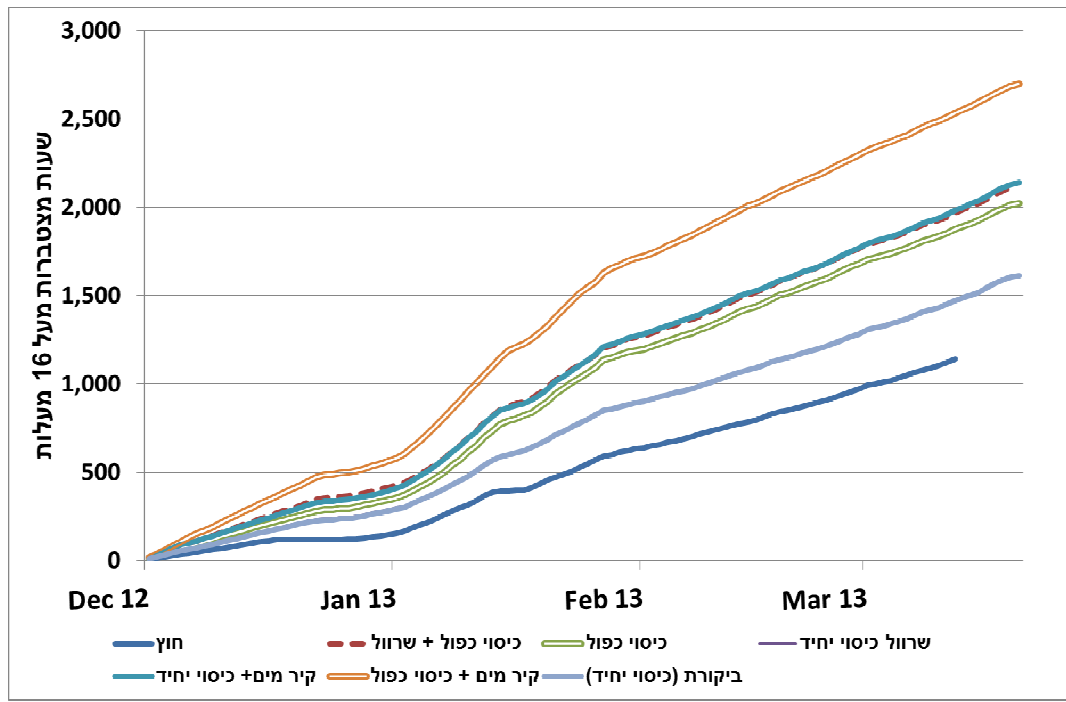
**איור מס' 3:** יבול בזיל מצטבר במהלך עונת הניסוי הראשונה (בטיפולים עם חזרות מוצג הממוצע בין החזרות).

בשנת המחקר השניה הייתה בעיה בשיטת הדגימה - שקילת חלקות שלמות בקטיף מסחרי - שהשתבשה עקב הינגעות החלקות בכשותית (ראה איור 4). לאור שיבוש זה החלטנו לא להציג תוצאות אילו בדוח זה מכיוון שההבדלים שהושגו לא ייצגו את השפעת הטיפולים אלא את השפעת המחלה שגברה עליהם. יש לזכור שנגיעות בכשותית פוסלת את הבזיל משיווק עקב רקבון שנוצר גם במהלך השיווק מכיוון שהעלים נגועים אף כי הנבגה מזוהה רק בחלקם.

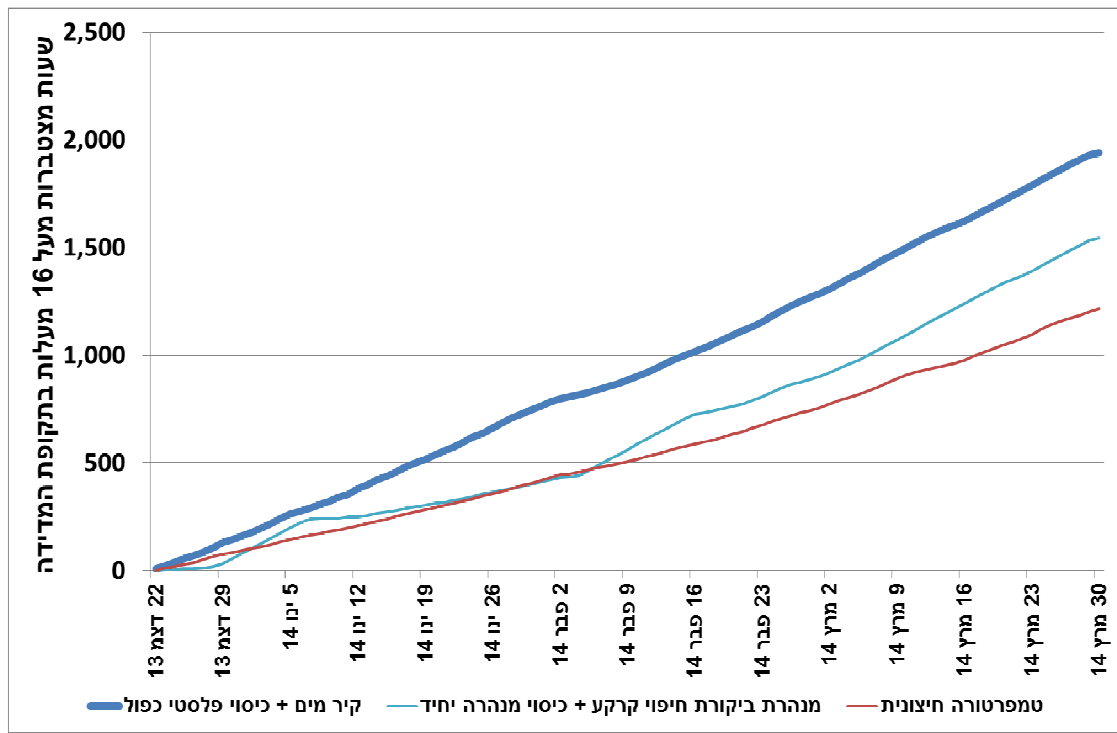


**איור מס' 4.** נגיעות בכשותית במנהרות הניסוי בעונת הניסוי השניה (מיתוך דו"ח של מחקר כשותית בראשות יגאל אלעד וחובריו שפורסם בנפרד). מספרי המנהרות מתייחסים לטיפולים השונים

1. ביקורת 2. קיר מים+ כיסוי פלסטיק כפול 3. קיר מים+ כיסוי פנימי מאגריל 4. קיר מים + כיסוי פנימי מאגריל 5. קיר מים+ צכיפוי פלסטיק כפול 6. ביקורת 7. שרוול מים כיסוי יחיד 8. שרוול מים כיסוי כפול 9. ביקורת 10. תצפית עמודי מים מדליים + שמירה נגללת בלילה.



**איור מס' 5:** שעות מצטברות מעל 16 מעלות בתקופת הניסוי בשנה א' (בטיפולים עם חזרות מובא הממוצע של כל חזרות הטיפול).



**איור מס' 6:** מספר השעות המצטברות מעל 16 מעלות בעונת הניסוי השניה - 2013-4.



### תוצאות מבדקי איכות היבול בשנת הניסוי הראשונה

בוצעו שלושה מבדקי איכות הבזיל במהלך העונה הראשונה. במועד הדגימה הראשון 2013-2-5 והשני 2013-2-10 לא נתקבלו הבדלים משמעותיים בין הטיפולים, בעוד שבמועד השלישי הסתמנה השפעה חיובית לכל הטיפולים בהשוואה להיקש.

### טבלה מס' 3 תוצאות מבדק איכות בזיל 2013-3-21

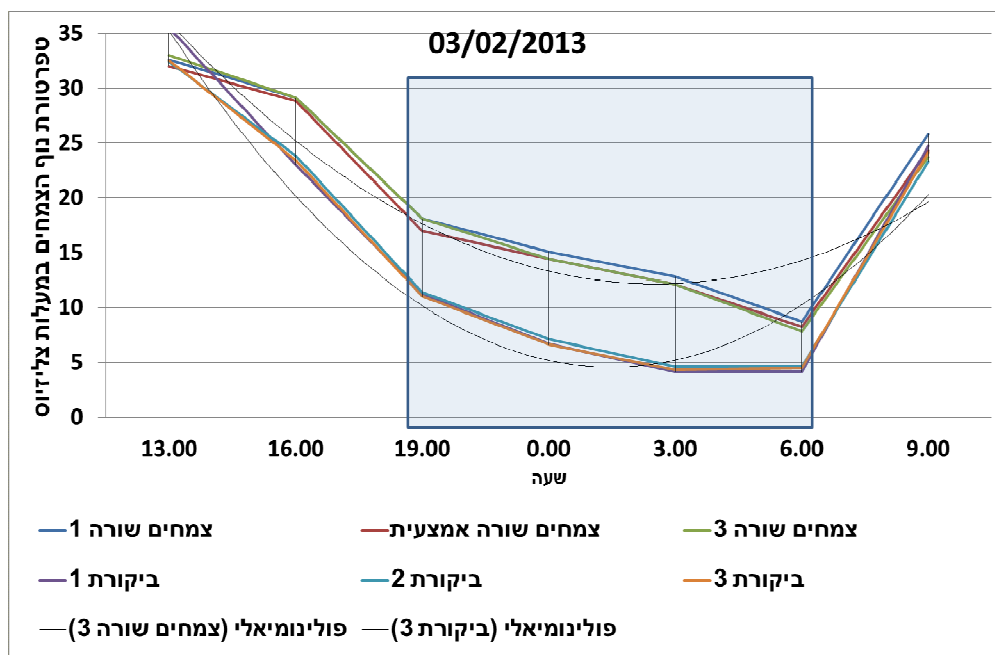
												21.3.13	תאריך אסיף:	
												28.3.13	הגעה למכון:	
												2.4.13	תאריך בדיקה	
												12c	טמפרטורה במכ	
הערות	נשירת עלים	השחמת אמירים (1-5)	רקבון קשה (%)		מדד רקבון גיבעולים (1-5)	מדד רקבון עלים (1-5)	השחמה % קשה (1-5)		מדד כמישה (1-5)	מדד הופעה (1-5)				
	0.7	1.0	8.3	23.6	1.5	2.1	0.0	1.2	1.5	2.5	ממצע		ביקורת	
	0.0	0.0	0.00	0.00	0.8	0.6	0.0	0.4	0.3	0.4	Sd			
	1.0	1.0	12.5	0.0	1.5	1.9	0.0	1.0	1.5	2.7	ממצע		קיר-כיסוי כפול	
	0.0	0.0	0.00	0.00	0.8	0.7	0.0	0.1	0.5	0.4	Sd			
	0.0	1.0	0.0	0.0	1.1	1.3	0.0	1.1	1.5	3.2	ממצע		קיר כיסוי יחיד	
	0.0	0.0	0.00	0.00	0.3	0.4	0.0	0.2	0.3	0.3	Sd			
		1.0	0.0	0.0	1.0	1.4	0.0	1.1	1.9	2.9	ממצע		שרוול כיסוי יחיד	
		0.0			0.0	0.7		0.4	0.3	0.4	Sd			
		1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.2	1.8	3.1	ממצע		כיסוי כפול	
		0.0			0.0	0.0		0.4	0.3	0.2	Sd			
		1.0	14.3	14.3	1.6	2.1	0.0	1.3	1.6	2.8	ממצע		שרוול כיסוי כפול	
		0.0			0.9	0.6		0.5	0.4	0.6	Sd			

### בחינת הרקע הפיזיקלי של צבירת החום במנהרות:

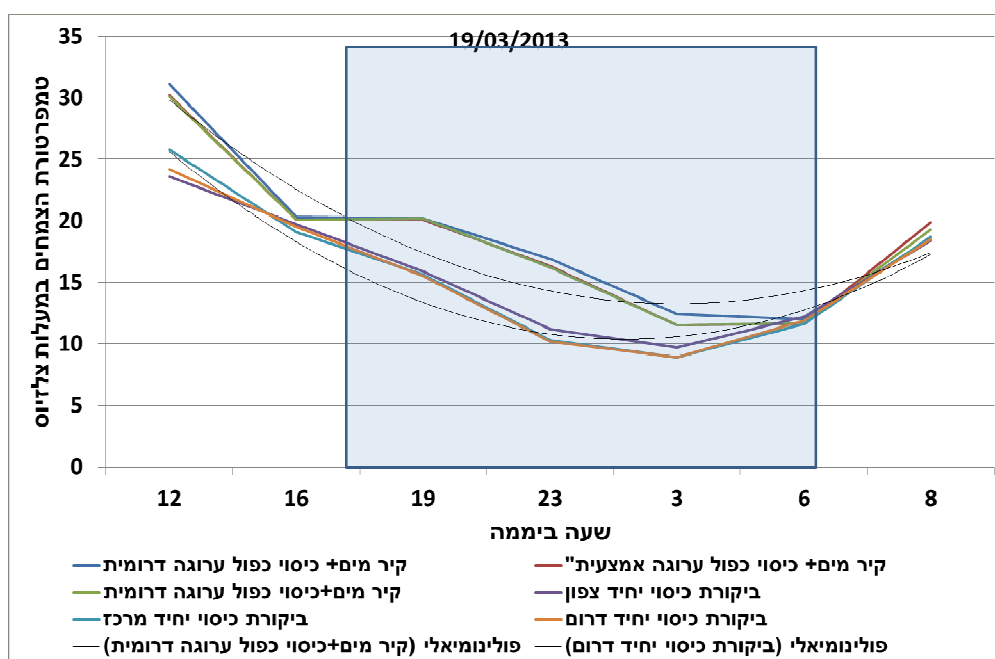
ניתוח מדידות של צוברי נתונים מסוג הובו - במעקב רציף אחרי טמפרטורת האוויר נמצא יתרון לטיפולי החימום הפאסיבי בשעות הלילה כשמסתמן מתאם חיובי בין שעות שהבזיל נמצא מעל ל- 16 מעלות לבין היבול.

גם בצבירת השעות מעל 16 מעלות (איורים 5 ו-6) בולט טיפול קיר המים עם הכיסוי הכפול מעל יתר הטיפולים בעוד שטיפול הביקורת נמוך משמעותית. טמפרטורת חוץ נבדקה רק בחלק מתקופת הניסוי לאחר שהרגש החיצוני נפגע באחת מסופות החורף.

תוצאות של צילומים תרמיים: בשתי יממות במהלך שנת הניסוי הראשונה של הניסוי בוצעו צילומים בעזרת מצלמה תרמית. הצילומים נותחו תוך דגש על טמפרטורת נוף הצמחים. איורים 7 ו-8 להלן מציגים תוצאות אלו. גם בשנה השנייה נעשו מספר סדרות של צילומים תרמיים אך עקב איכות ירודה של התצלומים שהתקבלו לא ניתן היה להפיק מהם מידע אמין.



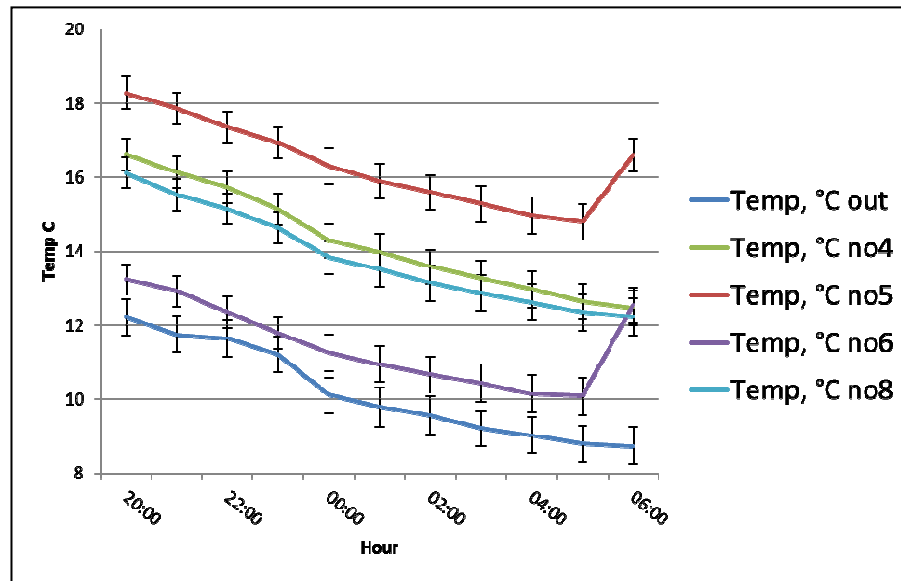
**איור מס' 7.** ניתוח השוואת מהלך טמפרטורת פסגת נוף הצמחים במהלך הלילה 3-2-פברואר-2013 בשלושת ערוגות מנהרת הביקורת (כיסויי יחיד) לעומת מנהרה עם קיר מים וכיסוי כפול, כפי שנמדדה ונותחה בעזרת מצלמת IR בשנת המחקר הראשונה.



**איור מס' 8.** ניתוח השוואת מהלך טמפרטורת פסגת נוף הצמחים במהלך הלילה 20-19 מרס-2013 בשלושת ערוגות מנהרת הביקורת (כיסויי יחיד) למנהרה עם קיר מים וכיסוי כפול כפי שצולמו ונותחו בעזרת מצלמת IR.

מאיורים 7 ו-8 ניתן ללמוד שהיתרון העיקרי של המנהרה עם קיר המים הוא בשעות הלילה, בעוד בשעות היום הטמפרטורות משתוות. בנוסף נמצא כי אין הבדל משמעותי בטמפרטורת הצמחים בערוגות השונות במבנה. מגמה זו נשמרת גם במועד הבדיקה השני (2013-3-19) אף כי במועד זה נשארו וילונות המנהרות פתוחים ביום ובלילה.

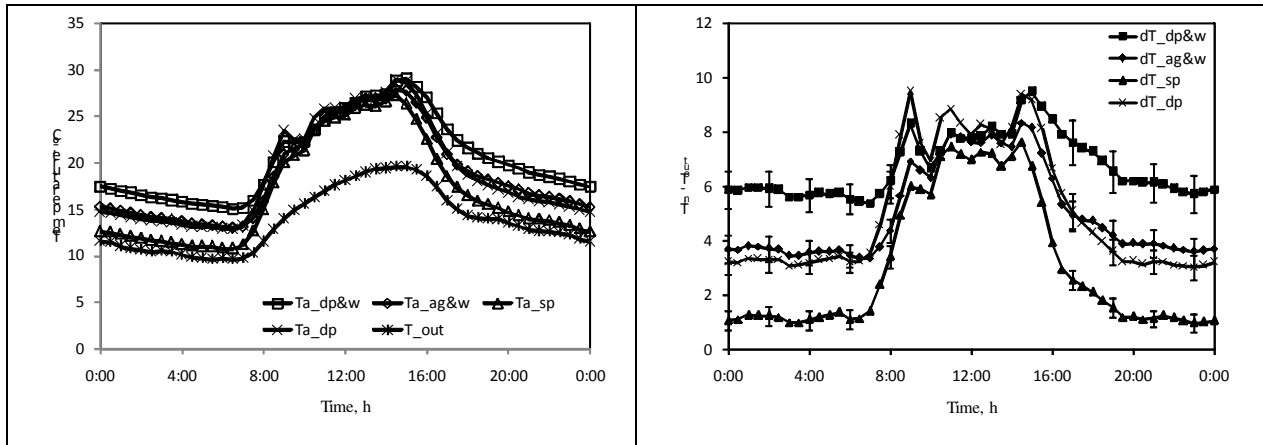
## ניתוח המיקרואקלים ומאזן האנרגיה בחממות :



**איור מס' 9 :** הטמפרטורה התקופתית הממוצעת במהלך הלילה בשנה א'.

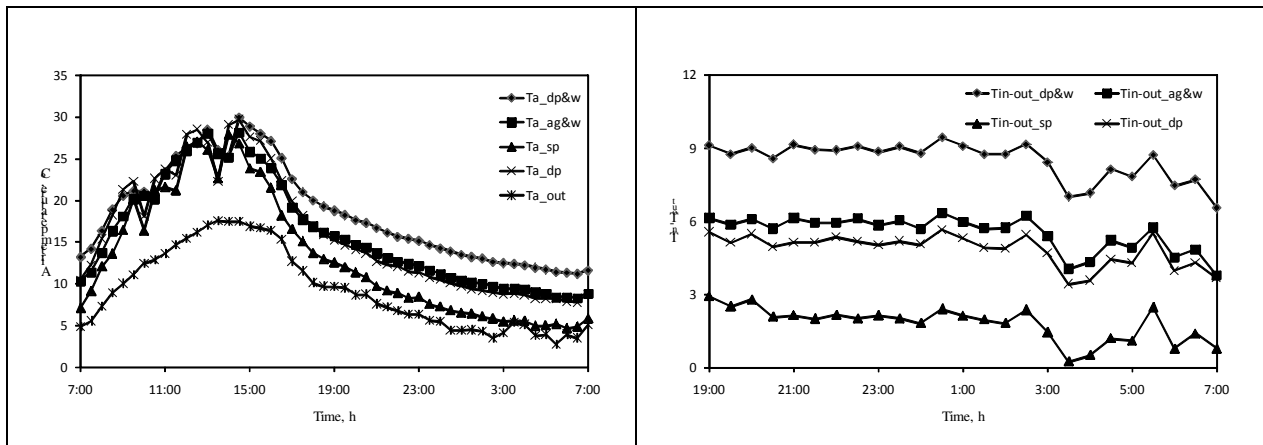
בשנה א' ניתן לראות מאיור 9 כי מגמת הירידה בטמפרטורה במשך כל הלילה ניכרת בכול הטיפולים. ניכר כי בחממה מס' 5 (כיסוי כפול + קיר מים, קו אדום) הטמפרטורה היא הגבוהה ביותר במשך כל הלילה בשיעור של כ-6 מעלות במוצק ביחס לתנאים בחוץ (קו כחול) ובשיעור של 4 מעלות במוצק ביחס לתנאים בחממת הביקורת (קו סגול). בשני טיפולי הביניים בחממה 4 ובחממה 8 הטמפרטורה נשמרה גבוהה מזו של הביקורת בשיעור של 2-3 מעלות. ניכר כי התרומה של הכיסוי הכפול ושל קיר המים לאגירת החום במבנה היא יחסית זהה ותרומתם לאגירה הכללית היא שקולה.

בשנה ב' נבחנה שנית השתנות הטמפרטורה במהלך היום והלילה במנהרות. איור 10 מציג ממוצע חודשי של מהלך הטמפרטורה היומי וההפרש בין טמפרטורת פנים וחוץ במהלך חודש ינואר 2014. תוצאות דומות באופן איכותי התקבלו בחודשים פברואר ומרץ (לא מוצג בדו"ח). ניתן לראות מאיור 10 כי כמו בשנה א' הטיפול של כיסוי כפול עם קיר מים נתן את טמפרטורת הלילה הגבוהה ביותר. מעניין כי הכיסוי הכפול עם אגריל עם קיר מים, כלומר היריעה הפנימית הייתה עשויה מאגריל והחיצונית פלסטיק, השפיע על הטמפרטורה במידה דומה (מבחינה סטטיסטית) כמו הטיפול של כיסוי פלסטיק כפול ללא קיר מים. כלומר, נראה שהשימוש ביריעת אגריל פנימית ניטרל חלקית את התרומה של קיר המים, כנראה עקב החדירות הגבוהה של האגריל לתנועת אוויר ויכולת הבידוד המופחתת שלו.



**איור 10:** מהלך יומי ממוצע בחודש ינואר 2014 של טמפרטורה בתוך המנהרות ומחוץ להן (שמאל) והפרש הטמפרטורה בין פנים המנהרה לסביבה החיצונית (ימין). באיור זה: dp&w – כיסוי כפול עם קיר מים; ag&w – כיסוי כפול עם אגריל וקיר מים; sp – כיסוי יחיד (ביקורת); dp – כיסוי כפול; out – סביבה חיצונית. הקווים האנכיים מייצגים רווח בר-סמך של 95%.

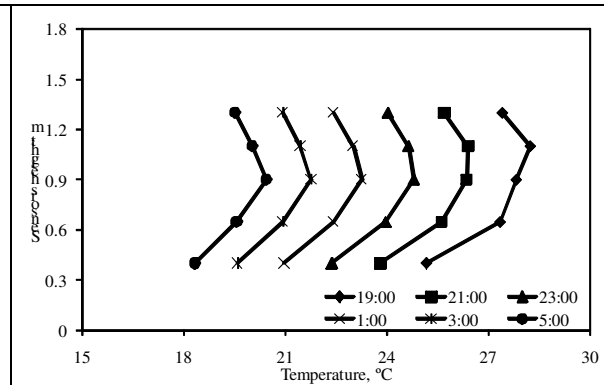
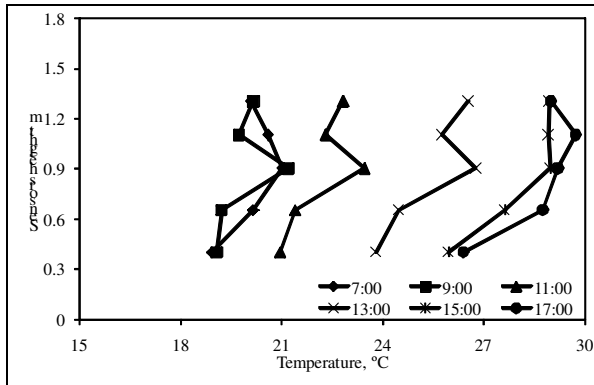
איור 11 מציג דוגמה של מהלך יומי של טמפרטורת האוויר בתוך ומחוץ למנהרות וההפרש בניהם בשעות הלילה, בחודש ינואר. גם כאן ניתן לראות את היתרון הבולט של טיפול הכיסוי הכפול וקיר המים. הגרף הימני באיור 11, המציג את הפרשי הטמפרטורה בלילה בטיפולים השונים מראה כי ההשפעה של כיסוי אגריל + קיר מים ושל כיסוי פלסטיק כפול ללא קיר מים מאד קרובה. לכן נראה שאין יתרון לכיסוי האגריל מבחינת טמפרטורת הלילה.



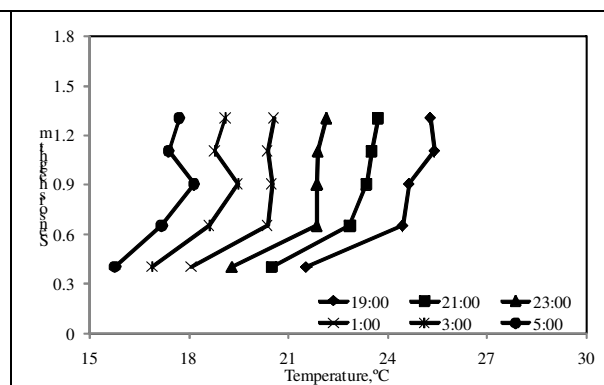
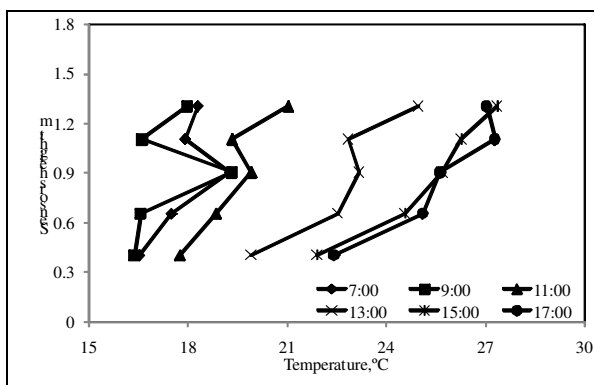
**איור 11:** מהלך יומי של טמפרטורה (שמאל) והפרש טמפרטורה בין פנים לחוץ בשעות הלילה בלבד (ימין) במנהרות השונות. 7 ינואר, עד 8 ינואר, 2014.

### פילוג הטמפרטורה בשרוולי המים

בתוך שרוולי המים הוצבו 5 חיישני תרמוקפל שמדדו את הפילוג האנכי של טמפרטורת המים בשרוול. החיישנים הוצבו בשרוול במרכזו שתי מנהרות: במנהרה עם כיסוי כפול, ובמנהרה עם כיסוי פלסטיק + אגריל. איורים 12 ו-13 להלן מציגים את השתנות הפילוג האנכי של הטמפרטורה בתוך שרוול המים לאורך היממה:

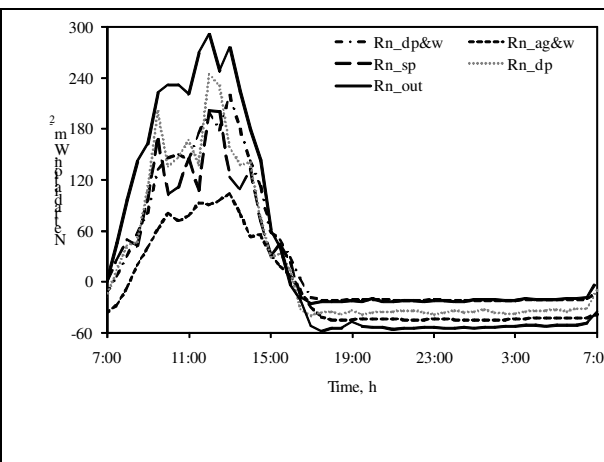
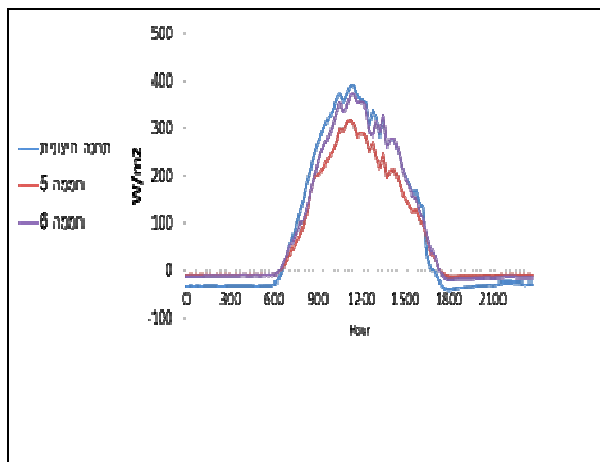


**איור 12:** הפילוג האנכי של הטמפרטורה בתוך שרוול המים במרכז המנהרה עם כיסוי פלסטיק כפול + קיר מים. מוצגים פילוגים החל משעה 7:00, 7 ינואר עד שעה 5:00, 8 ינואר, במרווחים של שעותיים.



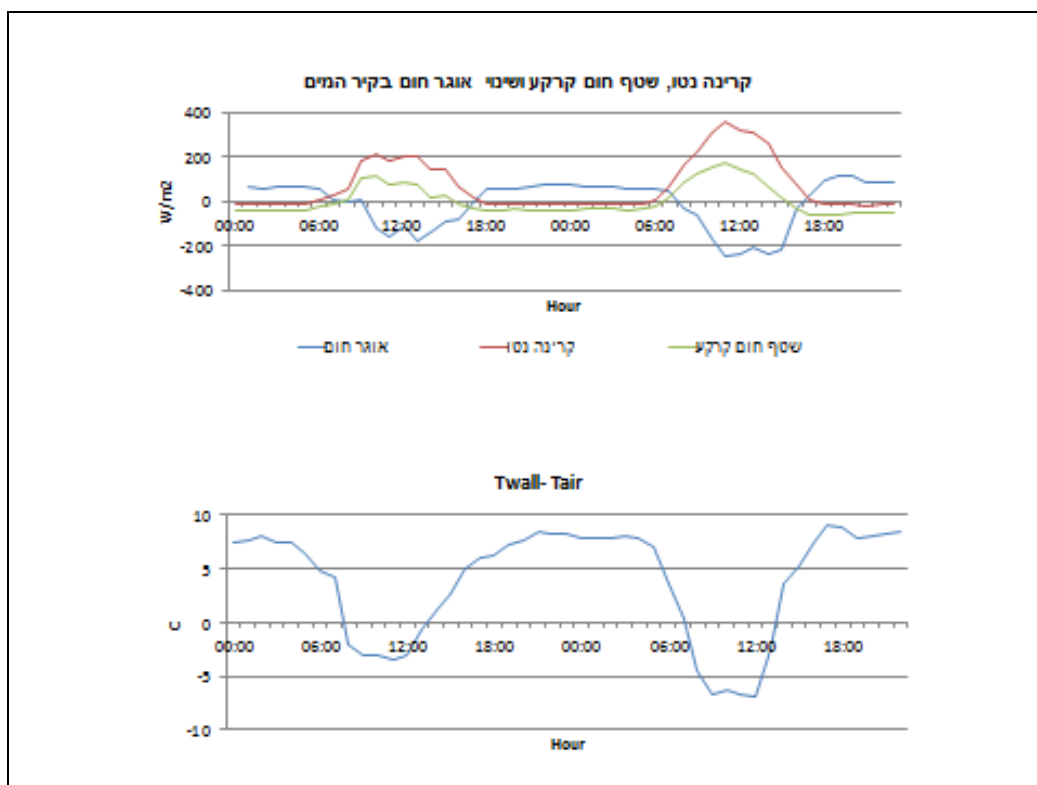
**איור 13:** הפילוג האנכי של הטמפרטורה בתוך שרוול המים במרכז המנהרה עם כיסוי פלסטיק + אגריל + קיר מים. מוצגים פילוגים החל משעה 7:00, 7 ינואר עד שעה 5:00, 8 ינואר, במרווחים של שעותיים.

איור 13 מראה כי באופן כללי טמפ' המים גבוהה יותר בחלקו העליון של השרוול מאשר בחלקו התחתון. זאת, כנראה, עקב הצטברות המים החמים למעלה, והקרירים למטה, עקב כוחות ציפה. ניתן גם להבחין כי טמפרטורת המים במנהרה עם כיסוי אגריל נמוכה יותר מאשר במנהרה עם כיסוי פלסטיק כפול גם ביום וגם בלילה. זהו ביטוי נוסף להשפעה השלילית של כיסוי אגריל על אגירת האנרגיה בשרוולי המים.



**איור מס' 14:** שמאל - מהלך יומי של קרינה נטו לתאריך 21 למרץ 2013, שנה א'. ימין - מהלך יומי של הקרינה נטו במנהרות לתאריך 7-8 ינואר 2014 שנה ב'.

בגרף מס' 14 מוצגים מהלכים יומיים טיפוסיים של הקרינה נטו בשתי שנות המחקר. באיור השמאלי ניתן לראות כי הקרינה נטו בחממה 5 המכוסה בכיסוי כפול היא נמוכה במקצת ביחס לקרינה בחממה עם גג בודד ולתנאים בחוץ. ניכר כי באופן כללי סך כל הקרינה הזמינה לאגירה בתוך החממה לא נמוך באופן משמעותי מאגירת החום הפוטנציאלית שניתן היה להשיג תוך ניצול מלא של הקרינה באמצעות אגירה מחוץ לחממה. באיור הימני ניתן לראות כי הקרינה נטו נמוכה יותר במנהרה עם כיסוי אגרייל. אין הבדל גדול בין המנהרות עם שאר הכיסויים, אך כולם נמוכים מהקרינה נטו החיצונית, כצפוי.



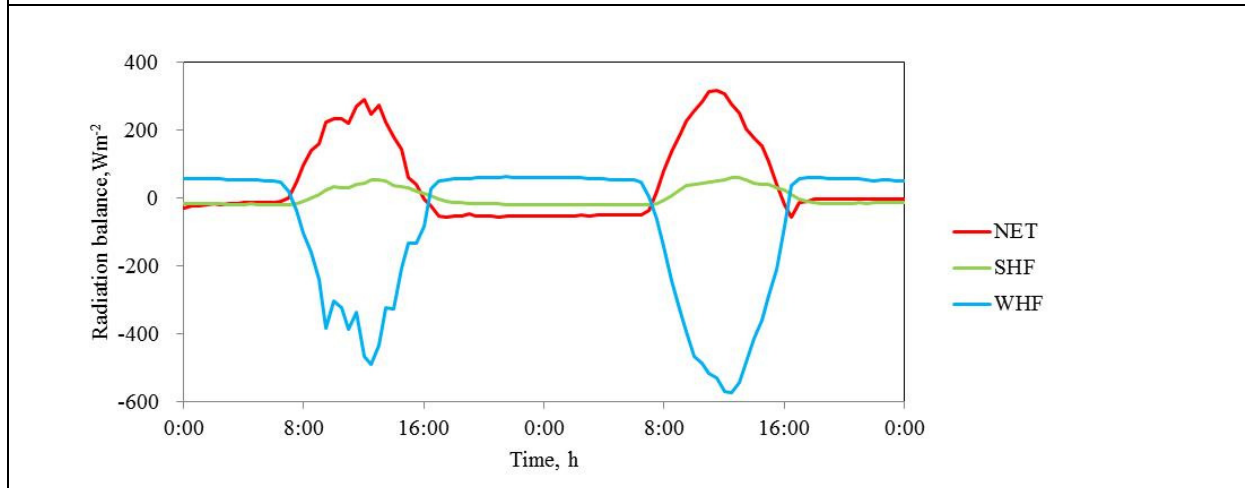
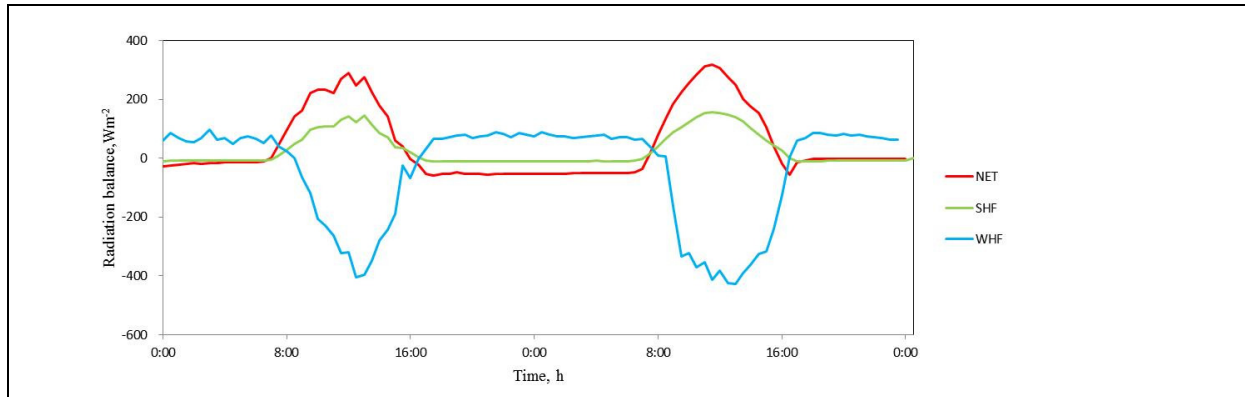
**איור מס' 15:** למעלה: מהלך דו יומי של קרינה נטו, שטף חום לקרקע ואוגר החום בקיר המים בחממה 5 (20-21 למרץ). למטה: מהלך יומי (יומיים) של הפרש הטמפרטורות בין קיר המים לאוויר.

איור 15 מציג את מאזן האנרגיה בשנה הראשונה. מאיור 15 (עליון) ניכר כי שטף החום לקרקע הוא יחסית משמעותי ולכן אגירת החום בקרקע היא משמעותית לא פחות מאגירת החום בקיר המים. ניתן לראות כי קיר שרוולי המים אוגר חום במהלך שעות היום ומגיע לשיא בסביבות השעה 13:00-14:00. החל משעות הערב הקיר מתחיל לפלוט את החום החוצה ומגיע לשלב שבו קצב איבוד החום הוא אחיד יחסית.

איור 15 (תחתון) מראה כי בשעות הבוקר בין 06:00-12:00 הטמפרטורה של הקיר נמוכה מזו של האוויר בתוך החממה. אולם החל משעות הצהריים ובמשך כל הלילה טמפרטורת הקיר גבוהה מזו של האוויר. החל משעות הצהריים ועד הערב הקיר מתחמם ובמשך הלילה הטמפרטורה שלו נשארת גבוהה מזו של האוויר.

ניתוח דומה של מאזן אנרגיה נערך עבור שנת המחקר השנייה. התוצאות מוצגות באיור 16. באיור זה אוגר החום בקיר המים מוצג ע"י הקו הכחול. ניתן לראות מהלך דומה של רכיבי מאזן האנרגיה בשתי שנות המחקר, אם כי, בשנה השנייה, ערכי אוגר החום בקיר המים גבוהים יותר. הסיבה לכך היא שבשנה השנייה חושב אוגר החום בקיר המים ישירות מתוך מדידת טמפרטורת המים בתוך השרוול, בעוד שבשנה הראשונה

החישוב התבסס על טמפרטורת פני השרוול, שמייצגת פחות טוב את טמפרטורת המים בתוכו. גם בשנה השנייה חזר המהלך בו הקיר אוגר חום (WHF) במהלך שעות היום ומגיע לשיא בסביבות השעה 13:00-14:00. החל משעות הערב הקיר מתחיל לפלוט את החום החוצה ומגיע לשלב שבו קצב איבוד החום הוא אחיד יחסית לאורך שעות הלילה.



**איור מס' 16 :** מהלך דו יומי של קרינה נטו (אדום), שטף חום לקרקע (ירוק) ואוגר החום בקיר המים (כחול). תוצאות משנה ב': גרף עליון, חממה עם כיסוי אגיל וקיר מים; גרף תחתון, חממה עם כיסוי פלסטיק כפול וקיר מים.

## דין

תוצאות השפעת אגירת החום על יבול הבזיל בלטו בשנה הראשונה. תוצאות השנה הראשונה היו דומות לתוצאות שנתקבלו בניסויים המקדימים שבוצעו בשנים קודמות, שהראו כי השימוש בקיר מים כתווך אוגר אנרגיה ביום ומשחרר חום בלילה, תורם לשמירת טמפרטורת הלילה של הבזיל, ומשפר את היבול באופן משמעותי לעומת חממת ביקורת ללא גוף המים. מהתוצאות ברור כי ניתן לגדל בזיל איכותי ללא חימום בדלק בעמק בית שאן. בנוסף הצטרפה בשנה הראשונה התוצאה המרשימה של הפחתה עד כדי מניעה של מחלת הכשותית. בשנת הנסיונות השנייה תקפה הכשותית מוקדם יותר (איור 5) ופגעה באמינות תוצאות היבול שאינן מוצגות.

המדידות שבוצעו אפשרו הבנה רחבה של התהליכים של צבירת ושחרור אנרגיה באמצעים השונים שנבדקו. מגוון המדידות- צילומים תרמיים, מדידות טמפרטורת אויר, מאזן קרינה נטו, שטף חום לקרקע ושטף קרינה והסעת חום מקיר המים אפשרו הרחבת ההבנה ויצרו תשתית לפיתוח מודל אנרגטי כולל של

המנהרות ואמצעי צבירת האנרגיה על מרכיביהם השונים. מודל כזה נמצא בשלבי פיתוח והוא יאפשר בעתיד ביצוע אופטימיזציה של המאפיינים של שרולי המים לתפקוד מיטבי של החממה.

דו"ח מסכם לתכנית מחקר מספר 895-0140-12

גידול בזיל חורפי בעמק המעינות (בית-שאן) ע"י קליטה, אגירה ושימור של אנרגית השמש

## **סיכום עם שאלות מנחות**

### **1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.**

המטרות היו בחינת השפעת טיפולים אגרוטכניים שונים, קיר מים, כיסוי כפול, כיסוי אגריל, שרול שוכב, על צבירת האנרגיה ביום ושחרורה בלילה, ועל יכול הבזיל, איכותו, ונגיעותו במחלות שונות. המטרות תאמו את תוכנית העבודה.

### **2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח**

בכל אחת משתי שנות המחקר נערכו ניסויים ב – 10 מנהרות המוצבות במפנה מזרח-מערב בחוות עדן, מו"פ עמק המעינות. המנהרות היו במידות של מפתח 6 מ' ואורך 30 מ', מידה המקובלת אצל מגדלי בזיל באזור. כל המנהרות היו עם חיפוי קרקע. בניסויים נבחנו הטיפולים הבאים: (1) ביקורת: חיפוי קרקע, כיסוי יחיד, ללא קיר מים או שרול שוכב; (2) קיר מים עם כיסוי יחיד; (3) קיר מים עם כיסוי כפול; (4) כיסוי כפול; (5) שרול מים שוכב עם כיסוי יחיד (שנה א'); (6) שרול מים שוכב עם כיסוי כפול (שנה א'); (7) כיסוי פלסטיק+אגריל עם קיר מים (שנה ב'); (8) כיסוי שמיכת גג עם קיר מים (שנה ב'). נמדדו טמפרטורה ולחות אוויר באמצעות חיישני הובו ופסיכרומטרים מאווררים. קרינה נטו נמדדה בכל הטיפולים פרט לשרול השוכב. נמדד שטף חום לקרקע ומהלך רציף של טמפרטורת פני שטח קיר המים. נמדד פילוג הטמפרטורה בתוך שרול המים. נמצא כי בחממה עם כיסוי כפול + קיר מים הטמפרטורה היא הגבוהה ביותר במשך כל הלילה בשיעור של 6 מעלות בממוצע ביחס לתנאים בחוץ ובשיעור של 4 מעלות בממוצע ביחס לתנאים בחממת הביקורת. בשני טיפולי הביניים (קיר מים או כיסוי כפול) הטמפרטורה נשמרה גבוהה מזו של הביקורת בשיעור של 2-3 מעלות. ניכר כי התרומה של הכיסוי הכפול ושל קיר המים לאגירת החום במבנה היא יחסית זהה ותרומתם לאגירה הכללית היא שקולה. לא נמצא יתרון לשימוש ביריעת אגריל מבחינת צבירת אנרגיה. בשנה הראשונה היה הבדל מובהק ביכול בין הטיפולים עם יתרון למנהרה עם קיר המים. בשנה השנייה לא נשקלו היבולים עקב הינגעות קשה של כשותית.

### **3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו**

מהתוצאות ברור כי ניתן לגדל בזיל איכותי ללא חימום בדלק בעמק בית שאן. בנוסף נצטרפה בשנה הראשונה התוצאה המרשימה של הפחתה עד כדי מניעה של מחלת הכשותית, מחלה חדשה בארץ שזוהתה לראשונה בארץ בחודש נובמבר 2011. המדידות שבוצעו איפשרו הבנה רחבה של התהליכים של צבירת ושחרור אנרגיה באמצעים השונים שניבדקו. מגוון המדידות- צילומים תרמיים, מדידות טמפרטורת אוויר, מאזן קרינה נטו, שטף חום לקרקע ושטף קרינה מקיר המים אפשרו הרחבת ההבנה ויצרו תשתית לבניית מודל אנרגטי כולל של המנהרות ואמצעי צבירת האנרגיה על מרכיביהם השונים. בשנה השנייה העמקנו במדידות אלו ואנו עוסקים כיום בעבודה על פיתוח המודל.



#### 4. הבעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה

לא חלו שינויים במהלך העבודה. התקלה היחידה הייתה בשנה א' הקמת ביקורת בשלוש חזרות, במקום ביקורת נוספת לכיסוי הכפול. התקלה תוקנה בשנת המחקר השנייה. בשנה השנייה נעשה מאמץ לחזור על הצילומים התרמיים – ללא הצלחה מסיבות אקלימיות ולוגיסטיות שונות. הינגעות קשה בכשותית בשנה השנייה מנעה בחינת השפעת הטיפולים על יכול הבזיל.

#### 5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח? לא.

6. פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט).

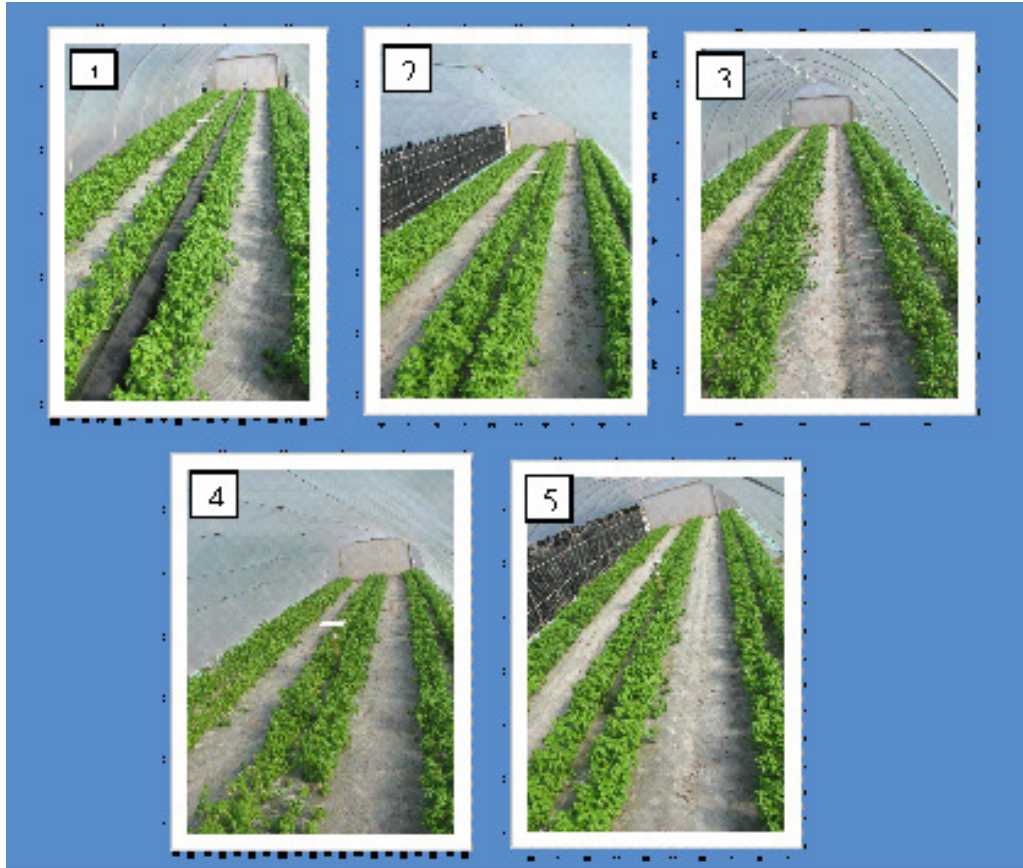
#### 7. האם בכוונתך להגיש תכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן.

#### **רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:**

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר: (דיווחי על הניסויים המקדימים)

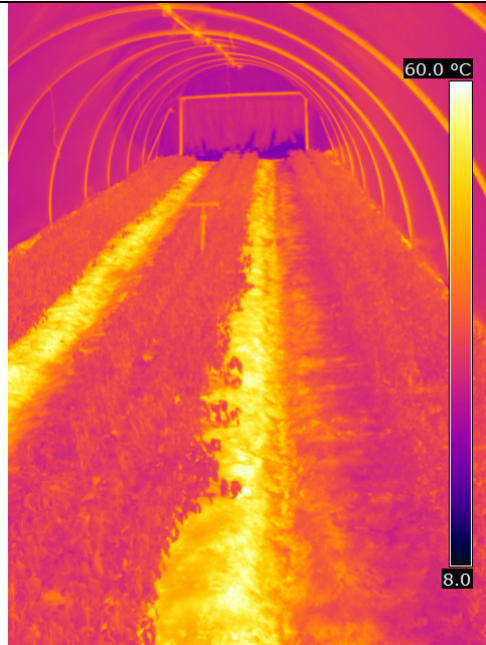
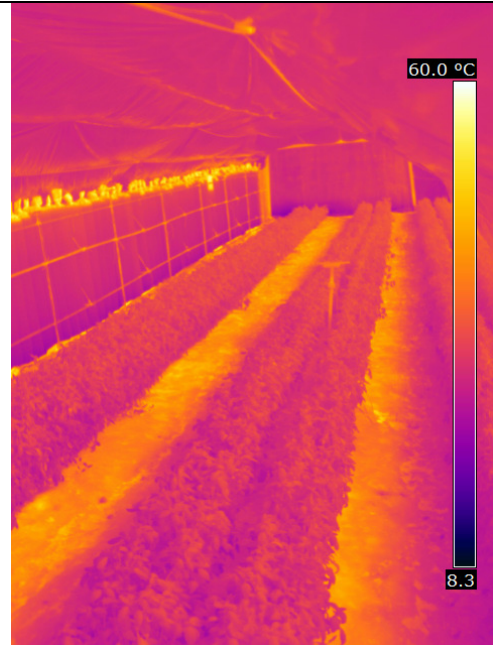
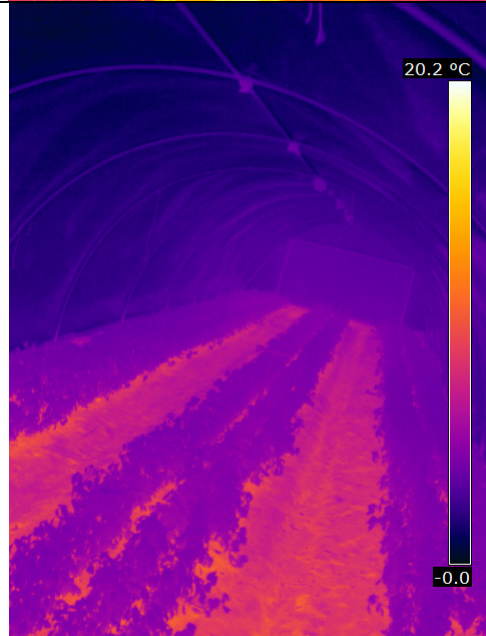
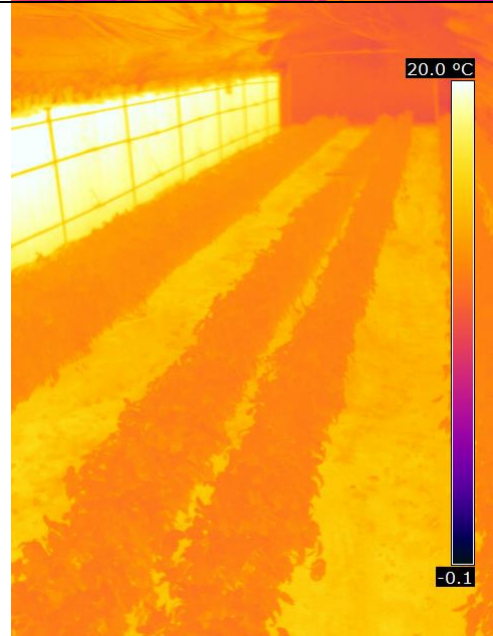
1. דוד שפירא וחובריו צבירה של אנרגיית השמש לחימום בזיל בחורף בעמק המעיינות מבזק ירקות שדה וירק מס' 251 דצמבר 2012 (בהוצאת ארגון מגדלי ירקות).
2. דוד שפירא וחובריו גידול בזיל חורפי בעמק בית שאן על-ידי קליטה, אגירה ושימור של אנרגיה סולארית דו"ח ביניים 2010-11, מבזק ירקות 240 ינואר 2012 (בהוצאת ארגון מגדלי ירקות)

נספח 1 צילום עיקרי הטיפולים



איור מס' 1: צילום עיקרי הטיפולים: 1. כיסוי יחיד + שרוול מים, 2. קיר מים כיסוי כפול, 3. ביקורת  
4. כיסוי כפול, 5. קיר מים כיסוי יחיד.

נספח מס' 2: צילומים טרמיים של מנהרת הביקורת (כיסוי יחיד לעומת מנהרה עם קיר מים וכיסוי כפול) בולט ההבדל בטמפרטורה בין שתי המנהרות בשעה 03.00

ביקורת כיסוי יחיד בלבד	קיר מים + כיסוי כפול	
		<b>13.00</b>
		<b>03.00</b>