



היערכות חקלאות ישראל לשינוי האקלים

גדעון טופורוב ^[1]*, מרק פרל ^[2], צפריר גרינהוט ^[1] וענת לוינגרט ^[1]

^[1] שירות ההדרכה והמקצוע (שה"מ), משרד החקלאות ופיתוח הכפר

^[2] האגף לשימור קרקע ולניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

* gidont@shaham.moag.gov.il

תקציר

שינוי אקלים כבר כאן. משנת 1950 ועד היום הטמפרטורה הממוצעת בישראל טיפסה בכ-1.4 מעלות צלזיוס, כאשר מרבית השינוי התרחש בשלושים השנה האחרונות. מלבד העלייה בטמפרטורה, שינוי אקלים מתבטא גם בשינוי תפוסת המשקעים ובעליה בשכיחות מגוון אירועים אקלימיים קיצוניים, מגמות הצפויות להימשך בעתיד הנראה לעין. לשינוי האקלים צפויות השלכות נרחבות עבור חקלאות ישראל הכוללות שינויים בכמות ובאיכות התוצרת החקלאית, עלייה בתצרוכת המים אל מול הירידה בזמינותם, התגברות תהליכי דלדול קרקע, תנודות במועדי זריעה ושתילה, עליה בהיקף ובעוצמת פגעים ומזיקים בחקלאות הצומח ובמשקי החי, שינויים בזמינות ובמחיר מזון לבעלי-חיים, השפעה על הענף הביטוח החקלאי ועוד. אולם חסרה הערכה כמותית החיונית עבור תיעדוף ומיקוד מדיניות ההיערכות לשינוי אקלים. בנוסף, שינוי האקלים צפוי גם להשפיע על מחירי התוצרת החקלאית העולמית ובכך להשפיע על המשק הישראלי, אך נושא רחב זה לא ידון במאמר.

חשוב לזהות צעדים המיושמים כבר היום ומסייעים לבניית חוסנה של החקלאות בפני שינוי אקלים. כדוגמה לכך אפשר לציין את השיפור ביעילות ההשקיה והדישון, ואת פיתוח הזנים והגזעים המותאמים לחום, ליובש, ולעקות ופגעים נוספים. בוודאי שראוי להגביר צעדים אלו לאור שינוי האקלים. אולם לצד המשך הפעולות האלו, חשוב גם לבצע הערכת סיכונים שיטתית ככלי לקראת גיבוש מדיניות היערכות מושכלת. מדינות מתקדמות שונות כבר פיתוח גישות לביצוע הערכת סיכונים, וראוי לאמץ גישה זו גם אצלנו. כצעד ראשון לקראת הערכת סיכונים בישראל, מיפינו את רגישויותיהם של כמה ענפים חקלאיים נבחרים לשינוי אקלים באמצעות מפגשי מומחים וראיונות עומק עם מדריכי גידול. המיפוי התייחס למאפיינים השונים של כל ענף וענף, והוביל להגדרת 54 מדדים אקלימיים משמעותיים לחקלאות.

בשלב השני, שיתוף פעולה עם השירות המטאורולוגי הביא ליצירת פרויקט ייחודי לניתוח מגמות שינוי האקלים במדדים המשמעותיים לחקלאות. הפרויקט כולל ניתוח מגמות המדדים שנבחרו בנתונים אקלימיים היסטוריים שנמדדו מאז שנת 1950 מחד, ומאידך תחזיות לעתיד ע"פ מודלים ארוכי טווח. תוצרי העבודה עשויים לשמש להערכת כמותית של הסיכונים הנובעים משינוי אקלים, וזו אמורה לשמש

ככלי למקבלי ההחלטות בתחום החקלאות, ואולי אף במגזרים נוספים. מאמר זה בא לסכם את הידע שנצבר ולפרסמו לעוסקים בנושא ולציבור הרחב.

מילות מפתח:

אירועי קיצון, התחממות גלובלית, הערכת סיכונים, ניהול סיכונים, בצורת, ביטחון מזון, מדדים אקלימיים לחקלאות

מפתח עניינים

1	היערכות חקלאות ישראל לשינוי האקלים
1	תקציר
2	שינוי אקלים ופליטות גזי חממה
4	היערכות לשינוי אקלים במגזר החקלאי
8	איור 1. שלבים נדרשים לגיבוש מדיניות היערכות לשינוי אקלים מבוססת נתונים
8	מיפוי רגישות לשינוי אקלים בחקלאות וקביעת מדדים אקלימיים משמעותיים
9	כימות מגמות אקלימיות במדדים משמעותיים לחקלאות
	איור 2. תוצרים ראשוניים מעבודת השירות המטאורולוגי למיפוי מגמות שינוי אקלים במדדים נבחרים
11	המשמעותיים לחקלאות
11	תודות
12	מקורות
14	נספח 1. שאלון רגישות ענפיות לשינוי אקלים
19	נספח 2. רשימת מדדים אקלימיים משמעותיים לחקלאות של משרד החקלאות

שינוי אקלים ופליטות גזי חממה

בשנים האחרונות אנו חווים את השפעות שינוי האקלים, הצפויות אף להתגבר בעתיד. מאז שנת 1950 עלתה הטמפרטורה הממוצעת בישראל באופן מובהק בין 1.2-1.5 מעלות צלזיוס (ישנה שונות בין אזורים גיאואקלימיים שונים). התחזית לעתיד דומה כאשר בתקופת השנים שבין 2020-2050 הטמפרטורה צפויה להיות גבוהה ב- 1.5 מעלות ביחס לתקופת הבסיס (1960-1990) לפי תרחיש ריכוזי גזי חממה 4.5 PCR המתון, וב- 1.8 מעלות לפי תרחיש RCP 8.5 החמור ([ראה הרחבה](#) [בנפרד](#)). מגמת השינוי המובהק בטמפרטורה אינה זהה לאורך השנה, כאשר השינוי הגדול ביותר התרחש בחודשי הקיץ ובחודשים פברואר-מרץ. מעבר לעלייה בערכים הממוצעים נמצאה גם עליה בערכי קיצון המתבטאת בשכיחות גוברת של ימים חמים וירידה מובהקת במספר הימים הקרים בחורף

[2]

בעוד השינוי בטמפרטורות העבר מובהק, מגמות המשקעים מאופיינות בשונות גבוהה ולרוב אינן מובהקות. מאז 1953 המגמות בגליל העליון וברמת הגולן מצביעות על פחיתה לא מובהקות בסך המשקעים, ואילו בצפון הנגב, במישור החוף הדרומי, בחלקו הדרום מזרחי של רכס הכרמל ובשפלת שומרון ויהודה נצפתה עליה ממוצעת, אך גם היא לא מובהקת. בשלושים השנים האחרונות נצפתה פחיתה לא מובהקת של כ 75 מ"מ בממוצע ארצי (מקו הגשם של 100 מ"מ וצפונה). מודלים אקלימיים צופים פחיתה של 7% בתקופה 2020-2050 ביחס לתקופת הבסיס (-1960) לפי שני תרחישי ריכוזי גזי חממה, RCP4.5 הקלו RCP8.5 החמור. בתקופה 2071-2090 צפויה פחיתה של 25% בכמות המשקעים לפי התרחיש החמור אולם לפי התרחיש הקל לא צפוי שינוי גדול ביחס לתקופת הבסיס. הן מגמות הגשמים מאז 1953 והן המודלים לעתיד מצביעים על צפי לפחיתה במספר ימי הגשם ולעליה באורך תקופות היובש בחורף (התקופה הארוכה ביותר ללא משקעים בעונת הגשמים)^[2].

שינוי האקלים קשור לעלייה החדה בריכוז גזי החממה באטמוספירה מאז ימי המהפכה התעשייתית. אמנם רמות גזי החממה נתונות לתנודות טבעיות, אולם הפעילות האנושית המוגברת מאז המהפכה התעשייתית הביאה לעליה מהירה באופן יחסי בריכוז גזי החממה. במבט עולמי, הייצור החקלאי הוא אחד הגורמים הבולטים לפליטות גזי חממה, יחד עם תחבורה וייצור אנרגיה מפליטות גזי החממה התלויות בפעילות האדם^[19]. פליטות אלו נובעות בעיקר מבירוא יערות, פליטות במשקי בע"ח, מהקרקע ומחומרי דישון והזנה. בישראל המצב שונה, והחקלאות תורמת רק 2.5%-3%

תחרישים להתפתחות ריכוז גזי חממה באטמוספירה

מודלים אקלימיים משתמשים במגוון פרמטרים לייצור תחזיות אקלים עתידי. אולם, פרמטר חשוב, ריכוז גזי החממה באטמוספירה, אינו ידוע ותלוי בפעילות האדם ותגובתו לשינוי האקלים. לצורך מודלים כאלו יצר ארגון ה IPCC מספר תרחישים המבטאים כמה אפשרויות להתפתחות השינוי בפליטות גזי החממה. התרחישים (representative concentration pathways - RCPs) מייצגים ארבע התפתחויות שונות:

1. **RCP 2.6** מייצג מצב בו העולם מתגייס בכל הכח להפחתת פליטות גזי חממה. בתרחיש זה ריכוז גזי החממה, שנמצא בעלייה רציפה כבר 150 שנה, מגיע לשיא כבר בשנים הקרובות ומתחיל לרדת עד לערכים הקרובים ל 400 חלקים למיליון עד שנת 2100
 2. **RCP 4.5** מייצג מצב בו ריכוז גזי החממה ממשיך לעלות בחציה הראשון של המאה ה-21, אבל נעצר בהדרגה בחציו השני ונבלם על פחות מ 600 חלקים למיליון עד סוף המאה
 3. **RCP 6.0** מייצג מצב בו ריכוז גזי החממה ממשיך להאמיר לכל אורך המאה, אם כי בקצב הולך ופוחת, ומגיע אל יותר מ 700 חלקים למיליון עד סוף המאה
 4. **RCP 8.5** מייצג מצב בו העולם אינו עושה דבר ולמעשה ריכוז גזי החממה ממשיך לעלות בקצב הולך וגובר, ומגיע אל יותר מ 1200 חלקים למיליון עד סוף המאה
- כאשר מדווחים על תוצאות מודלים לשינוי אקלים מקובל לציין איזה תרחיש או תרחישים נלקחו בחשבון.

מהפליטות במשק^[1], ע"פ מתודולוגיית החישוב הבין-לאומית שהתווה ארגון IPCC (המתייחסת לפעילות החקלאית בתוך גבולות המדינה בלבד ולא לכלל מערכות המזון^[10]). אפילו בהינתן מצב היפותטי של מעבר עולמי לאפס פליטות גזי חממה ממקורות אנתרופוגנים (נובעים מפעילות אנושית, ולא טבעית) החל מנקודת הזמן הנוכחית, ייקח מאות שנים עד לחזרה לתנאי טרום-המהפכה התעשייתית^[20,11]. לכן, לצד צעדים שיתרמו להפחתת פליטות גזי-החממה, קריטי לנקוט גם במדיניות היערכות לשינוי האקלים.

היערכות לשינוי אקלים במגזר החקלאי

היקף השטח החקלאי הכולל בישראל מוערך בכ-4.2 מיליון דונם, מתוכם כחצי מהשטח מושקע והשאר גידולי בעל הנסמכים על משקעים בלבד^[5]. החקלאות מספקת את עיקר תצרוכת הפירות, הירקות, החלב והביצים, ונסמכת בעיקר על יבוא להספקת דגנים, סוכר, דגים ובשר, ובמידה חלקית גם להספקת קטניות. בראייה של העשורים האחרונים, אנחנו עדים לשיפור בתפוקה החקלאית, ללא שינוי בסך המים המשמשים לחקלאות (עליה בתפוקה מכל קוב מים)^[3]. לעומת זאת, ישנה ירידה מתמשכת בחלקה היחסי של החקלאות בתמ"ג ובאחוז המועסקים במשק^[3].

התמודדות עם אתגרים אקלימיים תמיד היוותה תנאי לשגשוג החקלאות בישראל, לאור תנאי האקלים המאתגרים המאופיינים בקיץ ארוך ויבש ועונת גשמים קצרה ואינטנסיבית. לחץ הולך וגובר על משאבי הקרקע והמים הביאו להתפתחות חקלאות צמחית יעילה בשימוש במשאבי הטבע. באופן דומה, האקלים החם הוביל את משקי החי לפתח ממשק צינור יעיל שמאפשר התמודדות עם עומסי החום בחודשי הקיץ הארוכים.

הייצור החקלאי חשוף להשפעות מגוונות של שינוי האקלים. ההשלכות על חקלאות הצומח כוללות בין השאר:

- שינויים באיכות ובכמות התוצרת – בהתאם למאפיינים הפיזיולוגיים של הגידולים השונים
- עלייה בתצרוכת המים – עקב עליה צפויה בהתאדות היחסית
- שינוי באיכות ובתמהיל המים להשקיה (יותר שימוש במים שוליים, השפעת התפלת מים על מי ההשקיה)
- עליה בסיכוני סחיפת קרקע ודלדול קרקע
- עליה בסיכונים ישירים של נזקי אקלים כגון ברד, הצפות רוחות ועוד.
- עליה בהיקף פגעים וגורמי מחלה המותאמים בצורה טובה יותר לתנאים החדשים, וסיכון להופעה והתגברות של מזיקים חדשים כולל מינים פולשים

גם משק החי צפוי להיות מושפע משינוי האקלים במגוון דרכים הכוללים:

- פחיתה ביצרנות (חלב, בשר, ביצים)
- השלכות על בריאות ופוריות חיות המשק
- ירידה בזמינות מזון לבעלי חיים וחוסר יציבות במחירו (מזון גס המיוצר בארץ וגרעינים מיובאים)
- עליה בתצרוכת המים והאנרגיה לצינון
- החמרה של אתגרים וטרינריים בגלל גורמי מחלה המתואמים בצורה טובה יותר לתנאי האקלים

כאמור, כלל ענפי החקלאות חשופים להתגברות בשכיחות אירועי אקלים קיצוני שיביאו לפגיעה בתוצרת ובתשתיות, ולעליית מחירי הביטוח.

עקרון "אי-חרטה" (No Regret) מכוון להסתגלות באמצעות התמקדות בפעולות המועילות בפני עצמן (כך שלא נתחרט על ביצוען אפילו אם תחזיות שינוי האקלים לא יתממשו). חשיבות פעולות כאלו עולה כפליים בעידן של אקלים משתנה ^[18]. חקלאות ישראל נהנתה לאורך השנים מפעילות מחקר ופיתוח, הדרכה והטמעת הידע המצטבר בשדה. קיימים מספר מוקדי מחקר בסוגיות משיקות להערכות לשינוי אקלים, כגון יעול השימוש במים וניצול יעיל של מים שוליים (שאינם ראויים לשימוש אחר), יעול ממשקי הדישון, טיפוח מיני צמחים המתאימים לגידול בתנאי יובש, עקת חום ועקות נוספות, התמודדות עם מזיקים חדשים וגורמי מחלה והפחתת שימוש בחומרי הדברה, צינון במשקי החי, שיפור שיטות לאחסון תוצרת חקלאית, אימוץ אמצעים אגרו-טכניים כגון כיסוי רשתות במטעים וחקלאות מדייקת ועוד (ידע אישי, אלעד י, מינהל המחקר החקלאי – מכון וולקני, אוגוסט 2019). ההדרכה המקצועית של החקלאים שניתנת ע"י המדינה תורמת גם היא להתמודדות עם שינוי אקלים, באמצעות חיבור בין החקלאים בשטח לבין הקהילה המדעית. פעילות חשובה נוספת שעונה לעיקרון אי-החרטה היא הפעילות המתבצעת ב"בנק הגנים לצמחי ארץ ישראל". החקלאות המודרנית עוסקת בגידול מספר מצומצם של זנים (בהקשר של החקלאות הצמחית) בעלי תכונות יצרנות גבוהה, ביחס לעושר הגדול הנמצא בטבע. בהינתן תנאים עתידיים אנחנו עלולים להזדקק למשאבים גנטיים אלו על מנת להתאים את החקלאות לתנאים משתנים. בנק הגנים עוזר לשמור על המגוון הגנטי של צמחי התרבות וצמחי הבר של ישראל, משאב התורם כבר היום, וישמש כמעין "תעודת ביטוח" להתמודדות עם השינויים הסביבתיים. המשך מחקר בנושאים שהוצגו לעיל חיוני לקיום ענפי החקלאות על תרומותיהם הציבוריות. אולם במקביל, חשוב לקדם גם הערכת סיכונים וסיכויים מתוך ניתוח כמותי וכלכלי של ההשלכות החקלאיות הצפויות ושל אמצעי ההסתגלות.

אפשר לחלק את המחקר על ההשלכות החקלאיות שינוי האקלים לשתי גישות עיקריות:

א. גישה חישובית – שימוש במודלים נומריים לניבוי ההשפעה של מגוון תנאים סביבתיים [לדוגמה ראו 7, 22].

ב. גישה אמפירית- בחינת תגובת גידולים לתנאים משתנים בסביבה מבוקרת ובניסויי שדה [לדוגמה ראו 21].

בשנים האחרונות צפינו בעושר של מחקרים בעולם שנקטו בגישה החישובית לניבוי ההשלכות על הגידולים החקלאיים העיקריים (staple crops), אולם רוב המחקרים מסוג זה עסקו באזורי גידול נבחרים ובמספר מצומצם של גידולים חקלאיים. מחקרים בגישה זו המתייחסים לתנאי הגידול ולזנים הקיימים בישראל כמעט ולא נעשו. סקירה של מחקרים אלו מצביעה על צפי לפגיעה עולמית בגידולי מפתח כגון חיטה, אורז, תירס וסויה ברוב אזורי הגידול עד סוף המאה ה-21 [7, 22]. מספר חוקרים נקטו בגישה מתקדמת יותר ששילבה במודלים גם את השפעת שינוי האקלים על מזיקים המשפיעים באופן משני על הגידולים. מחקר לדוגמה הצביע על צפי להפחתה של-10–25% ביבולי חיטה, אורז ותירס משווקת בגלל התגברות מזיקים וגורמי מחלה שונים [8]. בישראל, מחקר שבחן את השלכות שינוי האקלים על גידול חיטה המגודלת ללא השקיה, צפה ירידה של 12% בייצור גרעינים המשמשים כמזון לעולם ושל 10.5% בייצור הביומסה הצמחית המשמשת להאכלת בעלי-חיים במשק עבור כל התחממות בשיעור 1 מעלה צלזיוס. כמו כן, המחקר צפה שהפחתה של 30% בכמות המשקעים תביא לירידה של היבול בחצי, כאשר יש משמעות גם לתפרוסת המשקעים [4]. חשוב לציין שפחיתה נרחבת כזאת בכמות המשקעים אינה צפויה לפחות עד החצי השני של המאה הנוכחית על-פי המודלים האקלימיים [2]. בהיעדר מחקרים נוספים הבוחנים את ההשלכות בתנאי הגידול של ישראל, יש לנקוט זהירות בפרשנות של מחקרים אלו. חשוב גם לציין ששינויים טכנולוגיים, וזנים משופרים לרוב לא נלקחים בחשבון במחקרים אלו.

לעומת זאת, בגידולים אינטנסיביים, כולל מטעים, ירקות ומזון מן החי יש קושי לכמת את הגידולים באופן מהימן במודל, ולכן מקובל הרבה יותר להשתמש בגישה האמפירית לחיזוי השלכות שינוי אקלים. בהיעדר מודלים מספקים, מתבססות ההערכות על מחקרים הבוחנים את הקשר בין מדד אקלימי לבין מדדי תוצרת חקלאית, מזיקים, או מדדי פוריות ובריאות חיות המשק. לדוגמה, מחקר מצא שעליה בטמפרטורות באברוצו, איטליה בין 1951–2011 יצרה תנאים להיווצרות דור שלישי של עש האשכול (*Lobesia botrana*), מזיק של כרם יין. אולם, במקביל תאריך תחילת הבציר בתקופה המקבילה הוקדם באופן מובהק, דבר המקטין את תוחלת הנזק של העש [9]. דוגמה נוספת נוגעת להשלכות שינוי אקלים על מחלה הפוגעת במשקי החי. התפרצות מחלת Bluetongue, מחלה ויראלית נישאת-חרקים התוקפת מעלי-גירה שהופיעה בעבר אחת ל-20 שנים, צפויה להפוך עד 2070 למחלה המתפרצת ברוב השנים [14].

גישה חדשה שמתפתחת בשנים האחרונות היא ניתוח על-פי שלבים קריטיים לגידולים (critical climate stress moments) ^[12]. בגישה זו שאלת המחקר היא כמה זמן ניתן לגדל את הגידולים הקיימים בתנאים הקיימים, בהינתן שינוי האקלים? אלו אמצעי הסתגלות דרושים להמשך קיימות הגידול? לדוגמא, מחקר הראה שתוך כשלושה עשורים לא ניתן יהיה לגדל את זני התירס הקיימים באפריקה בגלל התקצרות התקופה בה שוררים תנאי גידול מתאימים. בהנחה שפיתוח ואימוץ זנים חדשים המותאמים לשינוי אקלים יארך כ-30 שנה, החוקרים מסיקים שיש צורך בפיתוח מיידי של זנים חדשים כדי להקדים תרופה למכה ^[6].

למרות חשיבות הערכת השלכות שינוי האקלים, אין לראות בהם גורם בלעדי שישפיע על החקלאות העתיד. שינוי בביקוש לתוצרת החקלאי לסוגיה (הנובעים הן מגידול האוכלוסייה והן משינוי בהעדפות התזונתיות), שינוי בזמינות ובמחירי תשומות, פיתוחים טכנולוגיים, שינוי במבנה מערך העובדים, בסחר הבין-לאומי, ועוד, צפויים במשולב להשליך על מערכות המזון של העתיד. רבות מהמדינות המפותחות נקטו בגישה של הערכת סיכונים והזדמנויות תוך התבססות על מודלים משולבים, ביו-פיסיים, כלכליים וחברתיים או על ניתוח רב-שכבתי של המידע הזמין ^[13, 15, 16]. הארגון הבין-ממשלתי האמון על פיתוח הידע בנושא שינוי אקלים (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) פירסם אף הוא דו"ח שבחן באופן שיטתי את הידע המצטבר לגבי השפעות שינוי אקלים על החקלאות ועל ההשלכות על ביטחון המזון ^[17]. חקלאות ישראל עשויה לצאת נשכרת מאימוץ הגישה והכלים שפותחו במסגרת הערכות סיכונים בחו"ל.

הערכת סיכונים היא כלי חשוב למיקוד מדיניות להסתגלות לשינוי אקלים, לקביעת סדרי עדיפות ולהצדקת הוצאה כלכלית הדרושה לצורך הסתגלות, במקביל להמשך יישום מהלכי "אי חרטה". אולם הערכת סיכונים מצריכה השלמה של פערי ידע הן לגבי השינוי האקלימי עצמו והן לגבי השלכותיו על המגזר החקלאי. איור 1 מפרט את השלבים העיקריים בהערכת הסיכונים, ומשרד החקלאות עמל על השלמת פערי הידע לגיבוש מדיניות הערכות לשינוי אקלים, לפי השלבים המפורטים.



איור 1. שלבים נדרשים לגיבוש מדיניות היערכות לשינוי אקלים מבוססת נתונים

מיפוי רגישות לשינוי אקלים בחקלאות וקביעת מדדים אקלימיים משמעותיים

במשרד החקלאות פועל צוות רחבי, תוך שיתוף מגוון יחידות במשרד, שמקדם את מדיניות ההיערכות לשינוי אקלים. השלב הראשון, אפיון רגישות לשינוי אקלים, נחשב למורכב במיוחד כאשר מדובר במגזר החקלאי. הפעילות החקלאית מבוססת על מגוון גדול של צמחים ואורגניזמים שלכל אחד מהם פיזיולוגיה ייחודית ותגובה שונה לתנאים אקלימיים וסביבתיים. מורכבות נוספת נובעת מההשפעות האקלימיות המגוונות על מארג המערכות האגרו-אקולוגיות והאקוסיסטמות הסובבות אותן - הקרקע, המים, אורגניזמים ידיותיים לצמחי התרבות ולחיות המשק, ואחרים המזיקים להם.

לצורך המיפוי הראשוני נבחרו גידול חיטה, עגבניות בבתי צמיחה, מטעים נשירים, רפת החלב, בננה, אבוקדו, הדורים, בקר לבשר, גידול דבורים וכו'. בעזרת ראיונות עומק מבוססי שאלון (ראה נוסח השאלון בנספח 1), מפגשים משותפים של צוותי מומחים (מדריכים, מגדלים וחוקרים) ושיחות רבות נוספות עם אנשי מקצוע אפיינו מהם השלבים הפיזיולוגיים הרגישים ביותר לשינוי אקלים בגידולים השונים. בתהליך זה ניסינו לענות על השאלות הבאות:

- א. מהם ערכי הסף של הגידול הספציפי לרגישות לתנאי האקלים?
- ב. באיזו עונה/תקופה מופיעה הרגישות לתנאי האקלים?
- ג. באלו אזורים בארץ מופיעה הרגישות לתנאי האקלים? (בחלק מהמקרים מקביל לאזורי הגידול).

ד. מה זמן החשיפה הקריטי המביאה להשפעת תנאי האקלים?

ה. מהן התוצאות הצפויות מחשיפה לתנאים אלו?

ו. אלו אמצעי הסתגלות קיימים/צפויים? מה עלות יישומם?

תוצרי המיפוי הובילו להגדרת 54 מדדים אקלימיים משמעותיים לחקלאות הכוללים טמפרטורה, משקעים, לחות יחסית ומדדים משולבים. פירוט המדדים מתואר בנספח 2. חשוב לשים לב להבדל המשמעותי בין הענפים, כאשר לכל ענף ספים פיזיולוגים משלו הקובעים את קצב הגידול, תקופת הגידול והמהלך העונתי. לדוגמא, ברפת החלב מדד קריטי הוא מספר שעות עומס החום, כאשר עומס חום גבוה, במיוחד בלילה, עלול לפגוע בתפוקה ובבריאות הפרות, וגם להגדיל את הוצאות האנרגיה. לעומת זאת מטעים נשירים (כגון תפוח-עץ) רגישים לטמפרטורה חמה בחורף מתרדמת החורף, ולשרב בתקופת הפריחה שעלול לפגוע בחנטים ולמנוע התפתחות תקינה של פרי. גידולי שדה חורפיים כגון חיטה תלויים מאוד בכמות הגשם, ובפיזור הגשם לאורך העונה, ועוד.

עם סיום המיפוי היה ברור שהשלמת פערי הידע בתחום האקלימי צופן בחובו מספר אתגרים:

א. הענפים החקלאיים שונים זה מזה בתכלית מבחינת השלבים הקריטיים בהקשר של שינוי אקלים ומבחינת ערכי הסף שלהם, לכן אין להתייחס לחקלאות כיחידה אחת. מיפוי הענפים הוא אתגר מתמשכת ויצריך עדכון בהמשך.

ב. הפעילות החקלאית מתקיימת על פני כל מגוון האזורים הגיאוגרפיים בישראל. מיפוי מגמות העבר וחיזוי השינוי העתידי באופן שיבחין בין האזורים החקלאיים מצריך יכולות שלא היו בנמצא בתחילת הפרויקטים.

ג. חלק גדול מהפרסומים בתחום מתייחסים לערכי טמפרטורה שנתיים ממוצעים. עבור החקלאות נדרשים מדדים חודשיים, יומיים ואפילו שעותיים, [לדוגמא שעות עומס חום לפרות].

ד. חלק מהפרמטרים החשובים לחקלאות קשים לחיזוי או שלא נמדדו לאורך תקופה שתאפשר ניתוח מגמות. הדבר נכון בין השאר לגבי לחות יחסית, קרינה, טמפרטורת קרקע, אירועי ברד ורוחות קיצוניות.

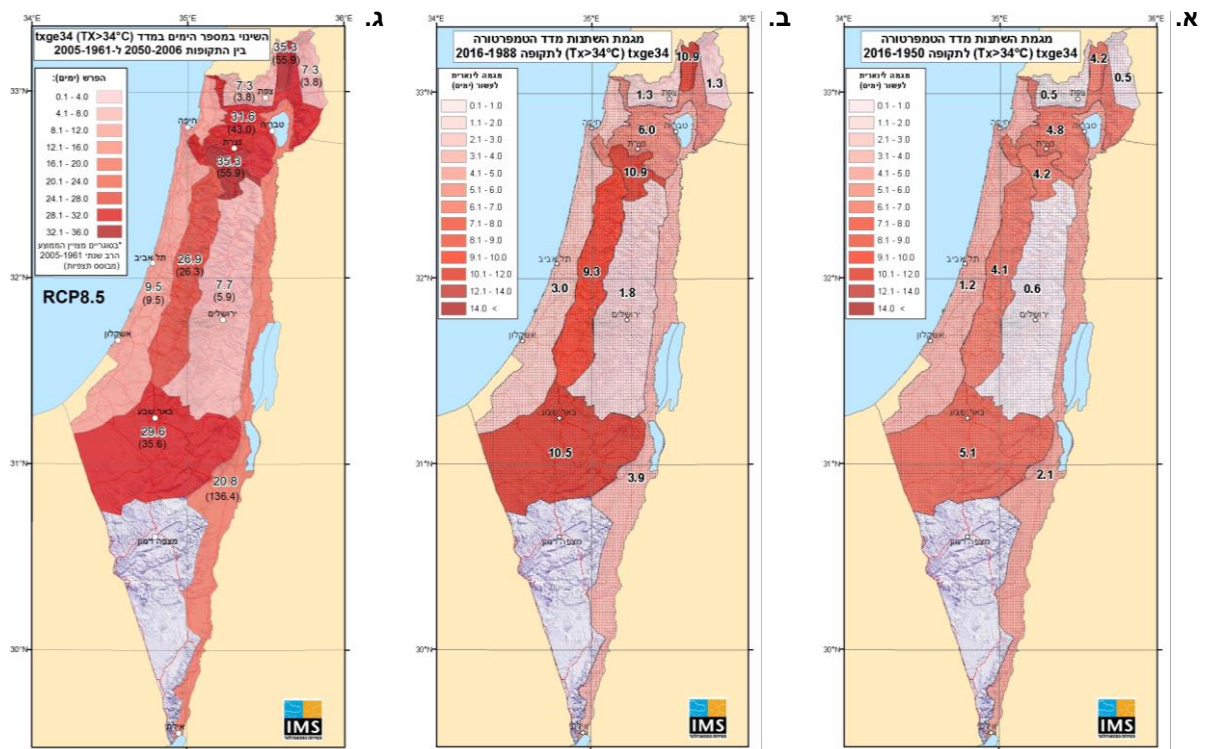
כימות מגמות אקלימיות במדדים משמעותיים לחקלאות

לאחר הגדרת המדדים המשמעותיים לענפי החקלאות נעתר השירות המטאורולוגי להוציא לפועל את פרויקט "מדדים אקלימיים משמעותיים לחקלאות" (מאמ"ל). בחלק מהמדדים (לדוגמא, משבי רוח קיצוניים ואירועי ברד) יש משמעות רבה לניתוח מגמות אקלימיות לענפים רבים, אולם בסיס המידע חסר ונדרשת השלמת פערי ידע לפני ניתוח המגמות. במקרים כאלו הביצוע נדחה למועד עתידי. השירות המטאורולוגי פועל בשנת 2017 להשלים עבודה חסרת תקדים בישראל בהיקפה, ובה מנותחות המגמות האקלימיות בנתונים ההיסטוריים שנמדדו מאז 1950, יחד עם חיזוי השינויים הצפויים עד 2050 לפי שני תרחישים של ריכוזים עתידיים של גזי חממה באטמוספירה (RCP4.5 ו-RCP8.5).

RCP8.5 שהוגדרו על-ידי ה-IPCC)^[2]. התוצרים כוללים מיפוי מגמות הטמפרטורה ל-8 אזורים גיאוגרפיים על סמך תחנות מטאורולוגיות רבות (34 תחנות למיפוי מגמות טמפרטורה ו-60 תחנות למגמות משקעים). ניתוח המגמות עבור כל התחנות נעשה ברמה על בסיס מדדים שנתיים, חודשיים, יומיים, ואף שעתיים. העבודה צפויה להסתיים במהלך 2021, והתוצרים המלאים יתפרסמו בנפרד עם סיומה.

בשלב זה, נציג מיפוי אזורי עבור אחד מתוך אותם 54 מדדים אקלימיים שנבחרו כהמחשה של תוצרי העבודה. מיפוי הענפים החקלאיים למדנו שכמה ענפים וביניהם רפת החלב, מטעים (נשירים וסוב-טרופיים), וחלק מגידולי הירקות רגישים לטמפרטורות גבוהות מ-34 מעלות צלזיוס בתקופות שונות בשנה. איור 2 א-ג מתאר את מגמות השינוי במניין הימים בהם טמפרטורת המקסימום גבוהה מ-34 מעלות ע"פ 8 אזורים גיאוגרפיים שכל אחד מבוסס על נתוני מספר תחנות מטאורולוגיות (טווח: 2-9, ממוצע: 4.25). בתקופה שבין 1950–2016 מספר הימים מעל סף 34 מעלות עלה באזורי הארץ השונים ב-34 ימים (איור 2 א), אולם רוב השינוי (עלייה של 30-3 ימים) התרחש בשלושת העשורים האחרונים בהם קצב ההתחממות החריף (איור 2 ב). עד ל-2050 צפויה עלייה נוספת של עד 29.4 ימים לפי התרחיש המתון, ועד 35.3 ימים על-פי התרחיש החמור (איור 2 ג מתייחס לתרחיש החמור אך הוא אינו שונה מהותית מהתרחיש המתון). בחלק מהאזורים, המשך מגמה זו יצריך לשנות את צורת הגידול (זנים שונים, בקרת אקלים וכו') או לעבור לאזור גידול קר יותר. אלו הערכות ראשוניות בלבד, ובוודאי עוד יעלו תובנות עם הצטברות נתונים נוספים. מפות מגמות דומות לרמה השנתית הוכנו (או נמצאים בשלבי הכנה) עבור כל 54 המדדים המשמעותיים לחקלאות שהוגדרו. בנוסף הועברו למשרד החקלאות גרפים וטבלאות של מגמות חודשיות, וכן את סדרות הזמן של המדדים המחוברים לטובת ביצוע ניתוחי המשך וקלט למודלים החקלאיים. אף שהעבודה עם השירות המטאורולוגי טרם הושלמה, נתונים אלו מצטברים אצלנו ויהיה פרסום מפורט עם סיום הפרויקט. בינתיים החומרים זמינים אצלנו עבור לכל חוקר, מדריך, חקלאי או בעל עניין אחר המעוניין לעשות בהם שימוש.

התוצרים עשויים לשמש להערכה שיטתית של הסיכונים וההזדמנויות, בכדי לספק כלים כמותיים בידי מקבלי ההחלטות. חשוב להדגיש כי התהליך אינו חד-פעמי וסגור, אלא חשוב שהוא יתמשך ויתעדכן בהתאם למצב ענף החקלאות ולמידע האקלימי המצטבר. האתגר החשוב הבא הוא הטמעת הידע המצטבר במחקרים חקלאיים, בין אם זה מודלים חקלאיים או מחקרים אמפיריים וניסויי שדה. יחד עם המשך נקיטת פעולות "אי חרטה", אנו סבורים שאימוץ גישת הערכת הסיכונים במגזרים אחרים תספק כלים עבור מדיניות מבוססת-מדע להיערכות לשינוי אקלים.



איור 2. תוצרים ראשוניים מעבודת השירות המטאורולוגי למיפוי מגמות שינוי אקלים במדדים נבחרים המשמעותיים לחקלאות

א-ב. מספר הימים בשנה בהם טמפרטורת המקסימום גבוהה מ-34 מעלות צלזיוס בתקופות 1950–2016 (א) ו-1988–2016 (ב). המספרים מבטאים את המגמה במספר ימים לעשור. שטחים מנוקדים מבטאים מגמות מובהקות, $P\text{-value} \leq 0.05$. ג. מידול אקלימי של מספר הימים בשנה בהם טמפרטורת המקסימום גבוהה מ-34 מעלות, על-פי ממוצע מקבץ המודלים, עבור 2050–2006 בהשוואה ל-2005–1961 על-פי תרחיש ריכוזי גזי חממה RCP8.5. בכל אזור מופיע מספר ימי התוספת ביחס לתקופת הבסיס (1961–2005).

תודות

למנהל השירות המטאורולוגי, ניר סתיו. ליצחק יוסף, מרכז הפרויקט, ולצוות העבודה המסור בשירות המטאורולוגי על המקצועיות חסרת הפשרות ועל תוצרי העבודה המשובחים.

מקורות

1. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2018. מדדי חקלאות-סביבה, 2000-2015 <https://www.cbs.gov.il/he/publications/Pages/2018/2015--2000.aspx>
2. יוסף י, בהר"ד ע, אוזן ל ואחרים. 2019. שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורות והמשקעים. השירות המטאורולוגי הישראלי.
3. כסלו י וצבן ש. 2013. אטלס סטטיסטי של חקלאות ישראל, 2013. צנובר, בסיוע האגף לתכנון כפרי אזורי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
4. מילר א, סבוראי ט, מורין א ובונפיל ד. 2013. מודל מפורש בזמן ובמרחב לחיזוי ייצור ראשוני ובדיקת השינויים הצפויים לנוכח שינויי אקלים בשדות חיטה. אוניברסיטת בן גוריון בנגב. מוגש לתואר מוסמך, המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי.
5. פאנוס ד. 2017. ענף החקלאות בישראל תמונת מצב כלכלית לשנת 2016. החטיבה למחקר, כלכלה ואסטרטגיה, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
6. Challinor AJ, Koehler J, Ramirez-Villegas J, et al. 2016. Current warming will reduce yields unless maize breeding and seed systems adapt immediately. *Nature Climate Change* **6**: 954-960.
7. Challinor AJ, Watson J, Lobell DB, et al. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change* **4**: 287-291.
8. Deutsch CA, Tewksbury JJ, Tigchelaar M, et al. 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science* **361**: 916-919.
9. Di Lena B, Guilianì D, Zinni A, et al. 2013. A climatic perspective of the presence of the European grapevine moth (*Lobesia botrana* Den. and Schiff) in the Abruzzo region, Italy. *Italian Journal of Agrometeorology* **18**: 5-12.
10. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, et al. (Eds). 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayama (Japan): IGES.
11. Gillett NP, Arora VK, Zickfeld K, et al. 2011. Ongoing climate change following a complete cessation of carbon dioxide emissions. *Nature Geoscience* **4**: 83-87.
12. Groot A, Werners S, Regmi B, et al. 2017. Critical climate-stress moments and their assessment in the Hindu Kush Himalaya: Conceptualization and assessment methods. Kathmandu (Nepal): Himalayan Adaptation, Water and Resilience Research (HI-AWARE).

13. Jackson L, Haden VR, Wheeler SM, et al. 2012. Vulnerability and adaptation to climate change in California agriculture. California Energy Commission. California Natural Resources Agency.
14. Jones AE, Turner J, Caminade C et al. 2019. Bluetongue risk under future climates. *Nature Climate Change* **9**: 153-157.
15. Knox JW, Hurford A, Hargreaves L and Wall E. 2012. Climate risk assessment for the agriculture sector. UK Department of Environment, Food and Rural Affairs.
16. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. 2015. Climate change adaptation plan of Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. MAFF: Japan.
17. Porter JR, and Xie L. 2014. Food security and food production systems. In: Climate Change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
18. Rizvi AR. 2014. Ecosystem based adaptation: Building on no regret adaptation measures. IUCN (International Union for Conservation of Nature): Technical paper.
19. Smith PM, Bustamante H, Ahammad H, et al. 2014. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
20. Solomon S, Plattner GK, Knutti R and Friedlingstein P. 2009. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *PNAS* **106**: 1704-1709.
21. Wolfenson D, Roth Z and Meidan R. 2000. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: Basic and applied aspects. *Animal Reproduction Science* **60-61**: 535-547.
22. Zhao C, Liu B, Piao S, et al. 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *PNAS* **114**: 9326-9331.

נספח 1. שאלון רגישויות ענפיות לשינוי אקלים

מדד אקלימי	ערך סף משמעותי למדד	תקופה בה המדד משמעותי (חודש/ים בשנה)	משך הזמן בו מדד זה הופך למשמעותי (רצף של שעות, ימים, חודשים)	אזור/ים גיאוגרפים בהם המדד רלוונטי (צפון [גליל, גולן], עמקים פנימיים, מישור החוף, נגב צפוני, ערבה, אחר)	רגישות למדד האקלימי (קריטית, גבוהה, בינונית, נמוכה)	השפעה צפויה על היבול – גם כמות וגם איכות יבול (אם ניתן לציין השפעה כמותית, נא לציין איכותית – השפעה רבה, בינונית, נמוכה)	השפעה צפויה על ההוצאות (אם ניתן לציין השפעה כמותית). במידה ולא ניתן, נא לציין השפעה איכותית	צעדי היערכות לשינוי אקלים והערכת עלויותיהם (דוגמא: השקעה בבקרת טמפרטורה בלולים)
מספר ימים חמים								
מספר לילות חמים								
מספר ימי עומס חום גבוה								
מספר לילות עומס חום								
מספר ימי שרב								
מספר ימי שרב רצופים								
ערך מקסימאלי (טמפרטורת מקסימום) חודשי								
ערך מקסימאלי חודשי								

מדד אקלימי	ערך סף משמעותי למדד	תקופה בה המדד משמעותי (חודש/ים בשנה)	משך הזמן בו מדד זה הופך למשמעותי (רצף של שעות, ימים, חודשים)	אזור/ים גיאוגרפים בהם המדד רלוונטי (צפון [גליל, גולן], עמקים פנימיים, מישור החוף, נגב צפוני, ערבה, אחר)	רגישות למדד האקלימי (קריטית, גבוהה, בינונית, נמוכה)	השפעה צפויה על היבול – גם כמות וגם איכות יבול (אם ניתן לציין השפעה כמותית). כמותית, נא לציין איכותית – השפעה רבה, בינונית, נמוכה	השפעה צפויה על ההוצאות (אם ניתן לציין השפעה כמותית). במידה ולא ניתן, נא לציין השפעה איכותית	צעדי לשינוי אקלים והערכת עלויותיהם (דוגמא: השקעה בבקרת טמפרטורה בלולים)
(טמפרטורת מינימום)								
ערך חודשי מינימאלי (טמפרטורת מקסימום)								
ערך חודשי מינימאלי (טמפרטורת מינימום)								
ימי/שעות קרה								
גלי קור (משך)								
גלי קור (עוצמה)								
ימי צינה								
מספר ימי ברד								
מספר ימי שלג								
משרעת טמפרטורה								
מספר ימי גשם								

מדד אקלימי	ערך סף משמעותי למדד	תקופה בה המדד משמעותי (חודש/ים בשנה)	משך הזמן בו מדד זה הופך למשמעותי (רצף של שעות, ימים, חודשים)	אזור/ים גיאוגרפים בהם המדד רלוונטי (צפון [גליל, גולן], עמקים פנימיים, מישור החוף, נגב צפוני, ערבה, אחר)	רגישות למדד האקלימי (קריטית, גבוהה, בינונית, נמוכה)	השפעה צפויה על היבול – גם כמות וגם איכות יבול (אם ניתן לציין השפעה כמותית). כמותית, נא לציין איכותית – השפעה רבה, בינונית, נמוכה	השפעה צפויה על ההוצאות (אם ניתן לציין השפעה כמותית). במידה ולא ניתן, נא לציין השפעה איכותית	צעדי לשינוי אקלים והערכת עלויותיהם (דוגמא: השקעה בבקרת טמפרטורה בלולים)
מספר ימי גשם כבד (כמה מ"מ?)								
מספר ימי גשם כבד מאוד (כמה מ"מ?)								
מספר ימי גשם רצופים								
מספר ימי יובש רצופים								
כמות גשם מקסימלית ליום								
עוצמת משקעים ממוצעת (סך משקעים/ מספר ימי גשם)								
מספר ימי גשם קיצוני								

מדד אקלימי	ערך סף משמעותי למדד	תקופה בה המדד משמעותי (חודש/ים בשנה)	משך הזמן בו מדד זה הופך למשמעותי (רצף של שעות, ימים, חודשים)	אזור/ים גיאוגרפים בהם המדד רלוונטי (צפון [גליל, גולן], עמקים פנימיים, מישור החוף, נגב צפוני, ערבה, אחר)	רגישות למדד האקלימי (קריטית, גבוהה, בינונית, נמוכה)	השפעה צפויה על היבול – גם כמות וגם איכות יבול (אם ניתן לציין השפעה כמותית). כמותית, נא לציין איכותית – השפעה רבה, בינונית, נמוכה	השפעה צפויה על ההוצאות (אם ניתן לציין השפעה כמותית). כמותית, נא לציין השפעה איכותית	צעדי לשינוי אקלים והערכת עלויותיהם (דוגמא: השקעה בבקרת טמפרטורה בלולים)
היחס בין משקעים בימי גשם קיצוני לכלל המשקעים								
כמות משקעים שנתית								
אורך עונת הגשמים בימים								
התאדות								
רוחות קיצוניים (עוצמה)								
רוחות קיצוניים (משך)								
מנות קור								
שעות מעלה לגידול								
שעות מעלה למזיק/פגע								
אחר								

מדד אקלימי	ערך סף משמעותי למדד	תקופה בה המדד משמעותי (חודש/ים בשנה)	משך הזמן בו מדד זה הופך למשמעותי (רצף של שעות, ימים, חודשים)	אזור/ים גיאוגרפים בהם המדד רלוונטי (צפון [גליל, גולן], עמקים פנימיים, מישור החוף, נגב צפוני, ערבה, אחר)	רגישות למדד האקלימי (קריטית, גבוהה, בינונית, נמוכה)	השפעה צפויה על היבול – גם כמות וגם איכות יבול (אם ניתן לציין השפעה כמותית). כמותית, נא לציין איכותית – השפעה רבה, בינונית, נמוכה	השפעה צפויה על ההוצאות (אם ניתן לציין השפעה כמותית). במידה ולא ניתן, נא לציין השפעה איכותית	צעדי השינוי והערכת עלויותיהם (דוגמא: השקעה בבקרת טמפרטורה בלולים)
אחר								

נספח 2. רשימת מדדים אקלימיים משמעותיים לחקלאות של משרד החקלאות

ענף/תחום	מדד	סף	תקופת עניין
1 כללי	התאדות	ל"ר	חודשי
2	תאריך גשם ראשון	< 20 מ"מ	שנתי
3	מספר ימי גשם	< 5 מ"מ	חודשי, שנתי
4	ימי משרעת טמפרטורה יום/לילה גבוהה	< 13 מ"צ	
5	טמפרטורה ממוצעת	ל"ר	
6	עומס חום (THI) ממוצע	ל"ר	
7	ימי טמפרטורת מינימום גבוהה	< 20 מ"צ	
8	שעות טמפרטורה גבוהה	< 30 מ"צ	
9		< 23 מ"צ	
10	שעות עומס חום (THI) גבוה	< 68	
11		< 72	
12		< 80	
13		$< 80\%$	
14	שעות לחות יחסית גבוהה	$< 85\%$	אביב-קיץ
15		$< 90\%$	
16	מספר ימי גשם	< 1 מ"מ	שנתי
17		< 5 מ"מ	
18		< 10 מ"מ	
19		< 20 מ"מ	
20	מספר מקסימלי ימי יובש ברצף	< 5 מ"מ	שנתי
21			נובמבר-אפריל
22			נובמבר-דצמבר
23			ינואר-פברואר
24		ל"ר	חודשי, שנתי
25	סך משקעים	ל"ר	חודשי

26			ל"ר	שנתי
27	אורך עונת הגשמים	< 5 מ"מ		
28	סך גשם בימי גשם כבד	אחוזון 95		שנתי
29	סך גשם בימי גשם כבד מאוד	אחוזון 99		
30	כמות גשם יומית ממוצעת	< 5 מ"מ		
31	ימי טמפרטורת מקסימום גבוהה	< 30 מ"צ		נובמבר-מרץ
32	ימי טמפרטורת מינימום נמוכה	> 5 מ"צ		
33	סטיית תקן טמפרטורת מקסימום	ל"ר		חודשי, שנתי
34	סטיית תקן טמפרטורת מינימום	ל"ר		
35	מספר אירועי ברד			שנתי
36	מספר ימי גשם	< 5 מ"מ		
37	שעות טמפרטורה גבוהה	< 32 מ"צ		חודשי, שנתי
38	שעות טמפרטורה נמוכה	< 20 מ"צ		
39	שעות לחות יחסית מיטבית	> 10 מ"צ		
40	שעות קרינה מיטבית	60%-80%		מרץ-ספטמבר
41	מספר ימי שרב	² וואט/מ 600-750		חודשי, שנתי
42	מספר ימי שרב קל	< 36 מ"צ		אפריל-יוני
43	מספר ימי שרב קל	< 34 מ"צ + > 20% לחות		
44	מספר ימי קרה	> 0 מ"צ		שנתי
45	מספר שעות קרה	> 0 מ"צ		
46	מספר שעות קרה עמוקה	> (3-) מ"צ		
47	מספר אירועי רוחות קיצוניות באביב	< 80 קמ"ש		אפריל-יוני
48	מספר אירועי רוחות קיצוניות בסתיו			אוקטובר-דצמבר
49	ימי טמפרטורת מקסימום גבוהה	< 40 מ"צ		3 ימים ברצף
50	אירועי קרה	> 0 מ"צ		6 שעות ברצף
51	מספר אירועי רוחות קיצוניות	< 80 קמ"ש		מרץ-נובמבר
52	מספר שעות קור מצטברות	מודל דינמי לחישוב מנות קור ^[1]		דצמבר-פברואר
53	ימי טמפרטורה גבוהה בחורף	< 18 מ"צ		דצמבר-פברואר

54	כותנה	צבירת ימי מעלה (טמפרטורה ממוצעת)	< 15.5 מ"צ	חודשי
----	-------	----------------------------------	------------	-------

1. ארז א, פישמן ס, גת צ וקובין גא. 1989. שימוש במודל הדינמי להערכת אקלים החורף לשבירת תרדמת עצי פרי נשירים. השדה **70**: 250-253.

