

תוכן עניינים:

| | |
|---|-------------|
| תקציר - | עמודים 2-3 |
| גוף דו"ח המחקר - מבוא - | עמוד 4 |
| גוף דו"ח המחקר - מטרות המחקר - | עמוד 4 |
| גוף דו"ח המחקר - פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר - | עמודים 4-9 |
| גוף דו"ח המחקר - דיון - | עמודים 9-10 |
| גוף דו"ח המחקר - רשימה ביבליוגרפית - | עמוד 11 |

דו"ח לתכנית מחקר מספר 12-02-0038 (מועד תחילת המחקר 1.1.2019)

שנת המחקר 1 מתוך 3 שנים

פיתוח מודל לחיזוי דינמיקת האוכלוסיות של כנימת עש הטבק בגידולי ירקות בשטח פתוח בתגובה לשינויי טמפרטורה ובניית כלי מהימן להערכת סיכונים וקבלת החלטות

Developing a modeling tool for predicting the dynamics, under global warming, of whitefly pests in open field vegetable crops, and building a reliable tool for risk assessment and decision making

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ע"י:
פרופ' שי מורין האוניברסיטה העברית בירושלים
פרופ' אפרת מורין האוניברסיטה העברית בירושלים
ד"ר ליאורה שאלתיאל הרפז מיגל-מו"פ-פצפון

Prof. Shai Morin, The Hebrew University of Jerusalem, P.O.Box 12, Rehovot 7610001.
E-mail: shai.morin@mail.huji.ac.il.

Prof. Efrat Morin, The Hebrew University of Jerusalem, Edmond J. Safra Campus, Jerusalem, 91904, Email: efrat.morin@mail.huji.ac.il.

Dr. Liora Shaltiel-Harpaz, IPM Northern R&D MIGAL, POB 831 Kiryat Shmona 11016. E-mail: lioraamit@bezeqint.net.

תקציר

הצגת הבעיה

כלים למידול הדינמיקה של אוכלוסיות חרקים מזיקים, המסכנים הן את רווחיות המערכת החקלאית והן יכולתה להבטיח מזון איכותי כמעט ואינם בנמצא כיום. יתר על כן, המודלים הקיימים פותחו עבור אזורים עם תנאים שונים מישראל, הם אינם מותאמים לטמפרטורות האופייניות לאזורינו, ולא יכולים לדייק בתנאים של גלי חום קיצוניים. במחקר זה, אנו מפתחים כלי סימולציה אשר יאפשרו תחזיות הסתברותיות אזוריות הן לימים הקרובים (חיזוי לטווח בינוני) והן לעונה הקרובה. כלי זה יוכל לשמש מקבלי החלטות כמו למשל פקחי מזיקים או מגדלים בתכנון עונתי של מחזור גידולים ובניטור ובקרה של המזיקים לאורך העונה.

שיטות העבודה

הוקם מאגר נתונים מטאורולוגי לעמק החולה הכולל את התחנות: דפנה, כפר-בלום, איילת השחר, חוות גד"ש, גדות וכבול. כן נעשה שימוש בתחנה להשוואה בעמק בית-שאן (חוות עדן).
נאספו נתונים אטמוספריים מ-22 מודלים אקלימיים גלובליים מפרויקט CMIP5 עבור אזור עמק החולה. בנוסף, נאספו נתוני רה-אנליזה מ-NCEP/NCAR ומ-ERA-Interim לאזור המחקר.
פותח "מנוע מזג אוויר" המאפשר downscaling לתחנה נקודתית בעמק החולה.
נערכו ניסויי שדה בחוות המטעים להערכת שיעורי ההטלה, קצבי ההתפתחות ושיעורי ההישרדות של דור אחד של כנימת עש הטבק (כע"ט) על תפוא"א, בטטה, אבטיח מללי ושעועית.
על פי נתוני ניסויים אלו כויל המודל לחיזוי ביצועי כע"ט עבור תנאי שדה וגידולים רלוונטיים לעמק החולה

תוצאות עיקריות לשנת 2019

לאחר הקמת בסיס הנתונים המטאורולוגי, השלמת ארבעת ניסויי השדה, וכיול המודל על פי תוצאות הניסויים, הורץ המודל המלא והמכיל (משלב בין הפונקציות המתמטיות החוזות את קצב ההתפתחות, ההטלה והשרידות של כע"ט) לאורך עונת הגידול 2019 (התחלת הרצה ב- 1.1.2019) עם נתוני הטמפרטורה המדודים. על פי תחזית המודל, תחילת פעילות משמעותית של כע"ט בשדה בשנת 2019 הייתה בשליש השלישי של חודש מאי. גידול משמעותי באוכלוסייה (שני סדרי גודל) התרחש בחודשים יולי אוגוסט (דור חמישי ובהתאמה מלאה לדיווחי הפקחיות). בנוסף, ההגעה המאוחרת של החורף בשנת 2019 (רק בחודש דצמבר נרשמה ירידה משמעותית בטמפרטורות) גרמה לכך שפעילות משמעותית של אוכלוסיות כע"ט נרשמה במודל עד סוף חודש נובמבר 2019 (שוב בהתאמה מלאה לדיווחי הפקחיות בשדה).

מסקנות והמלצות

כבר בשנה זו, המודל שאנו מפתחים חזה היטב את ההגעה המאוחרת של כע"ט לאיזור עמק החולה וכן את הזמן הרלוונטי (דור 5) להתחלת הטיפולים כנגדה. לכן, אין לנו ספק כי הכלי בפיתוח יהיה רלוונטי ושימושי ויאפשר ניהול מושכל של המאמצים להתמודד עם כע"ט לאורך העונה. למעשה, אנו מתכוונים להציע לפקחיות להשתמש בכלי כבר בעונת הגידולים 2020. בהמשך הדרך (בשנה השלישית) ישולב גם הכלי אשר יאפשר לחקלאי לקבל הערכה הסתברותית על גודל אוכלוסיות כע"ט והשתנותן הצפויה במהלך העונה וכן לאמוד את הסיכונים להתפרצויות באתרים השונים כבר בתחילת עונת הגידול.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי

1. פרופ' איתמר לנסקי. אוניברסיטת בר-אילן. טל" 03-7384033. אימייל: itamar.lensky@biu.ac.il
2. פרופ' עופר עובדיה. אוניברסיטת בן-גוריון. טל" 08-6461359. אימייל: oferovad@bgu.ac.il
3. פרופ' גיא בלוך. האוניברסיטה העברית. 02-6584320. אימייל: guy.bloch@mail.huji.ac.il

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן

הידע יופץ על ידי בניית כלי עבודה אינטראקטיבי והעברתו ישירות לשימוש פקחיות/מזיקים בעמק החולה

תאריך: 24.2.2020

חתימת החוקר 

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

עדיין אין פרסומים שנבעו מהמחקר. אנו עובדים כעת על המאמר הראשון המתאר את המודל המאפשר חיזוי הדינמיקה של אוכלוסיות כנימת עש הטבק לאורך עונת הגידול. זמן הגשה משוער של המאמר מרץ-אפריל 2020.

מבוא

מחקר זה עוסק בפיתוח גישה מחקרית רב-תחומית להתמודדות עם השפעת שינויי האקלים על העלייה הצפויה בפעילות חרקים שהינם מזיקי מפתח בחקלאות, הפוגעים בגידולים המשמשים כמזון בסיסי. המחקר מתמקד בכנימת עש הטבק, *Bemisia tabaci* (כע"ט), שהינה מזיק מפתח בגידולים חד-שנתיים רבים ברחבי ישראל. הגישה המחקרית משלבת בין מודלים אקלימיים גלובליים לחיזוי שינויי אקלים, לבין מודלים להתנהגות של אוכלוסיות כע"ט בטמפרטורות שונות, תוך שימוש ב"מנוע מזג אוויר". דבר זה מאפשר הרצת תרחישים, המבטאים לא רק את תגובת האוכלוסיות לעלייה הממוצעת הצפויה בטמפרטורות אלא גם לשונות של ערכים אלו והשתנותה עם הזמן (Zidon et al. 2016).

בעזרת גישה רב-תחומית זו, אנו מאפיינים את התגובות הביולוגיות (במקרה זה, הדינמיקה של אוכלוסיות כע"ט) למגוון רחב של דפוסי טמפרטורה. יתרה מזאת, בשל המדגם הגדול, אנו גם מסוגלים לאפיין מקרים נדירים של גלי חום קיצוניים, המהווים מוקד עניין מיוחד במחקרנו. עם מגוון זה, אנו מזהים את תנאי הטמפרטורה העיקריים המשפיעים על גודל אוכלוסיות כע"ט באזור מרכז עמק החולה, בו מתמקדים עיקר מאמצנו.

כפי שנראה בפרק התוצאות, כלי הסימולציה שפותחו כבר השנה מתארים היטב את המצב בפועל בשדה ומאפשרים הערכות למספר ימים קדימה. כלי זה מאפשר קבלת החלטה מושכלת על מועדי ניטור ומועדי טיפול ואם להקדים או לאחר את מועדי הזריעה/שתילה וכן קבלת התראות לאתרים עם סכנת התפרצות הדורשים ניטור נוסף. יש לציין כי המחקר נעשה השנה בשיתוף עם פקחי מזיקים וחקלאים בעמק החולה.

מטרות המחקר

כפי שתוכנן בהצעה שאושרה, המחקר בשנה הראשונה התמקד בהשגת שלוש מטרות:

1. הקמת בסיס נתונים מתחנות מטאורולוגיות באזור המחקר, ואיסוף נתונים אטמוספריים ממודלים אקלימיים גלובליים לתא השריג המכסה את אזור המחקר.
2. פיתוח "מנוע מזג אוויר".
3. ביצוע ניסויי שדה בני דור אחד אשר יאפשרו בחינה וכיול של המודל לחיזוי ביצועי אוכלוסיות כע"ט. מעבר לכך, החלטנו להוסיף מטרה נוספת לשנת המחקר הראשונה. בעבודה על מטרה זו, בדקנו האם נתוני הסימולציה (מודל) שלנו לאורך העונה, מתאימים לתצפיות בזמן אמת אותן מבצעות פקחיות המזיקים.

פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר (כולל נתונים, טבלאות ואיורים)

1א. הקמת בסיס נתונים מתחנות מטאורולוגיות באזור המחקר

מאגר התצפיות המטאורולוגיות שנבנה עד כה כולל את התחנות הבאות מאזור עמק החולה: דפנה, כפר-בלום, איילת השחר, חוות גד"ש, גדות וכבול (חוות חולה). כמו כן כללנו תחנה בעמק בית-שאן (חוות עדן)

לצורך השוואה עם אתר בעל תנאי אקלים שונים (טבלה מספר 1). רשימת התחנות לעיל שונה במעט מהרשימה בהצעת המחקר (הוספנו את תחנות חוות גד"ש וגדות והסרנו את תחנות כפר סאלד, עמיעד, בית צידה וכפר נחום), על פי העיקרון שנקבע עם תחילת המחקר להתמקד בתחנות הממוקמות בלב האזור החקלאי במרכז עמק החולה (אזור אשר יאפשר אימות של נתוני המודל עם תצפיות הפקחיות בשדות השונים) ולא בשולי האזור (עמיעד, בית צידה וכפר נחום). כמו כן, בכפר סאלד לא נמצאה תחנה מטאורולוגית הפעילה כיום. מאגר הנתונים נבנה בשתי רמות של פירוט עיתי: שעה ויממה. הנתונים מתחנות השירות המטאורולוגי מתקבלים בפירוט עיתי של 10 דקות. הנתונים הומרו למרווחי זמן של שעה כך שבכל שעה עגולה בה ישנן לפחות 3 רשומות (מתוך 6) מוצעו הרשומות ובשעות בהן היו פחות מ-3 רשומות נרשם קוד לנתון חסר. הנתונים מתחנות מו"פ צפון התקבלו מראש בפירוט שעתי. עבור כל מסדי הנתונים, בדקנו את תקינות הנתונים, מיפינו נתונים חסרים וזיהינו מדידות שגויות. נתונים חסרים שוחזרו על ידי הפעלת קשרי רגרסיה לינארית פשוטה בין תחנות עם מתאם גבוה. חישוב המתאם וקשרי הרגרסיה התבסס על נתונים מהשנים 2017-2019.

| תחנה | מקור | תקופה | פירוט עיתי |
|------------|--------------------|-----------|--|
| דפנה | השירות המטאורולוגי | 1970-2019 | יומי לכל התקופה, שעת עבור 2017-2019 |
| כפר בלום | | | |
| איילת השחר | | | |
| חוות עדן | | | |
| חוות גד"ש | מו"פ צפון | 2017-2019 | שעתי ויומי |
| גדות | | | |
| כבול | | | |

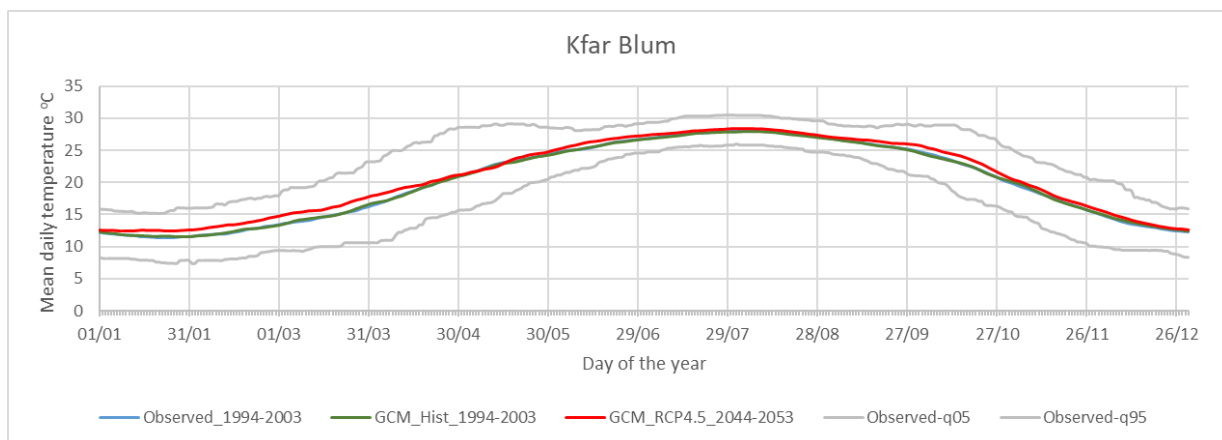
טבלה 1 – תחנות מטאורולוגיות בעמק החולה מהן נאסף מידע על הטמפרטורות.

1.ב. איסוף נתונים אטמוספריים ממודלים אקלימיים גלובליים לתא השריג המכסה את אזור המחקר נאספו נתונים אטמוספריים מ-22 מודלים אקלימיים גלובליים מפרויקט CMIP5 עבור אזור עמק החולה. המודלים ברזולוציה יומית, והם כוללים את משתנה טמפרטורת האוויר במפלס לחץ 1000 הפ"ה. בהמשך המחקר נבצע בדיקות נוספות לבחינת מהימנות המודלים לאזור זה. בנוסף, נאספו נתוני רה-אנליזה מ-NCAR/NCEP ומ-ERA-Interim לאזור המחקר.

2. פיתוח "מנוע מזג אויר"

מנוע מזג האוויר מייצר סדרות זמן אקראיות של טמפרטורות עבור תחנה מטאורולוגית, כאשר האילוץ מגיע מנתונים אטמוספריים ברזולוציה גסה, מרה-אנליזה או ממודל אקלימי גלובלי/אזורי, והטמפרטורות המתקבלות מייצגות תחנה נקודתית (תהליך של Downscaling סטטיסטי). באקלים ההווה, המאפיינים הסטטיסטיים של סדרות הטמפרטורה ממנוע מזג האוויר צריכים להתאים למאפיינים הסטטיסטיים של התצפיות בתחנה. בהמשך, המנוע מופעל בתנאי אקלים של תחילת ואמצע המאה ה-21 (בתרחישים שונים) ומחושבים צברים של סדרות טמפרטורה בשתי תקופות האקלים. אלו יהוו בהמשך קלט למודל אוכלוסיות כנימת עש הטבק.

האיור מטה מציג כדוגמא את תוצאת הפעלת מנוע מזג האוויר עבור תחנת כפר בלום, כשהאילוץ מגיע מהמודל האקלימי BCC_CSM1 מפרויקט CMIP5 בתרחיש הביניים RCP4.5.



איור 1 - מהלך הטמפרטורה התוך שנתית בתחנת כפר בלום לתחילת המאה על פי תצפיות (קו כחול), מודל אקלימי BCC-CSM1 (קו ירוק) ולאמצע המאה מהמודל האקלימי בתרחיש RCP4.5 (קו אדום). קווים אפורים מייצגים מרווח אי וודאות של 90%. הנתונים התקבלו מצברים של 200 סדרות זמן כל אחד.

3א. ביצוע ניסויי שדה בני דור אחד אשר יאפשרו בחינה וכיול של המודל לחיזוי ביצועי אוכלוסיות כע"ט
 ניסויי שדה בוצעו בסוף האביב, במהלך הקיץ ובתחילת עונת הסתיו של שנת 2019. הניסויים נערכו בבית-רשת בחוות המטעים שבמרכז עמק החולה על מנת להעריך את שיעורי ההטלה, קצבי ההתפתחות ושיעורי ההישרדות של דור אחד של כע"ט. צמחים פונדקאים אולחו בכע"ט תוך שימוש בכלובי עלה. בתום תקופת הטלה בכלובים נאספו הכנימות הבוגרות. ספירת ביצים בוצעה מתחת לבינוקולאר מספר ימים לאחר האילוח. לאחר כ-10 ימים החלה ספירת נשלים יומית שאפשרה את חישוב היום הממוצע של השלמת הדור. בכל ניסוי נאספו נתוני טמפרטורה בסמיכות לצמחים כך שניתן היה להשתמש בנתונים להזנת המודל (ראה סעיף הבא) ולבצע השוואה של זמן ההתפתחות מביצה לבוגר, בין התצפיות בניסויים לתחזיות המודל.

הטבלה הבאה מרכזת את תוצאות ארבעת הניסויים שנערכו עד כה:

| פונדקאי | תאריך התחלה | חזרות | זמן התפתחות ממוצע (סטיית התקן), ימים | שרידות ביצה לבוגר | מספר ביצים ממוצע לנקבה |
|-----------|-------------|-------|--------------------------------------|-------------------|------------------------|
| תפוח אדמה | 17/5/2019 | 6 | 21.02 (1.08) | - | - |
| בטטה | 4/7/2019 | 4 | 24.44 (0.53) | 21.9% | 12.18 |
| אבטיח | 29/8/2019 | 9 | 23.4 (0.4) | 20.4% | 5.05 |
| שעועית | 7/10/2019 | 13 | | 31.9% | 8.51 |

טבלה 2 – סיכום תוצאות ארבעת ניסויי ההתפתחות/שרידות שנערכו בחוות המטעים במהלך שנת 2019. קודם להתחלת הניסוי, האוכלוסיות עברו תקופת אדפטציה של לפחות שלושה דורות לפונדקאי הנבחן.

הניסוי בתפוחי האדמה היה הראשון שביצענו בעונה זו. כבר בתחילתו נגרם נזק כבד לצמחים בעקבות האילוח והטמפרטורות הגבוהות ששררו בבית הרשת. לכן, לא התאפשר לקבל אומדן מהימן ממספיק חזרות. לאחר מכן בוצעו התאמות על מנת להבטיח את הצלחת הניסויים הבאים - נפרסה רשת צל על

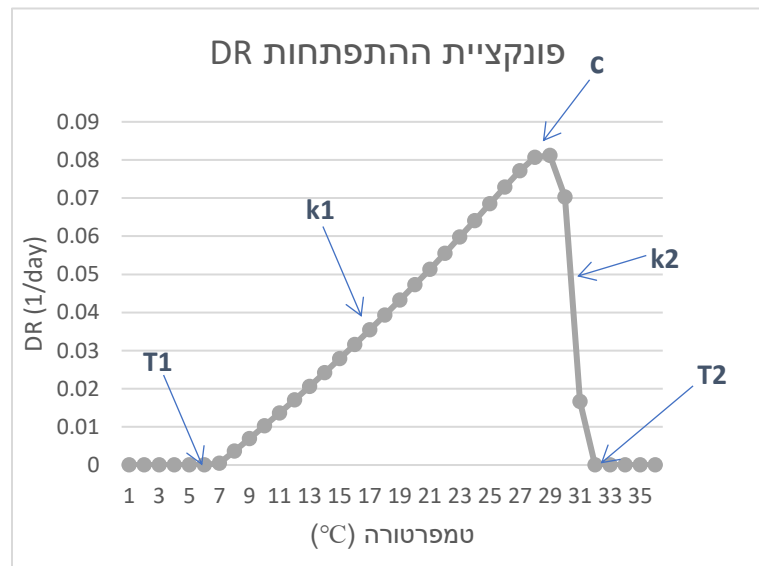
מבנה בית-הרשת והוגדל מספר החזרות. בתוכנית העבודה המקורית תוכננה רשימת פונדקאים שכללה גם עגבניות, ברוקולי וכרובית. מתוך ניסיון לבצע ניסויים על הפונדקאים הרלוונטיים ביותר לאזור המחקר, השתדלנו להיצמד לתוכנית הגידול בשדות החקלאיים ועל כן שונתה התוכנית בהתאם. ניסויים נוספים מתוכננים בפונדקאים ממשפחת המצליבים בתחילת האביב ובעגבניות. כמו כן, נחזור בתחילת האביב גם על הניסוי בתפ"א.

3.ב. פיתוח, כיול ואופטימיזציה של המודל

כחלק מתהליך פיתוח המודל מתבצעת הערכה של זמן ההתפתחות של כע"ט כתגובה לטמפרטורת הסביבה. את התגובה איפיינו לראשונה בניסויים שנערכו בתאי גידול בטמפרטורות קבועות, כך שניתן עבור טמפרטורות שונות לקבל זמן התפתחות. את הנתונים הללו הצבנו על גרף והתאמנו להן פונקציה לא-ליניארית המתארת בצורה רציפה את הקשר בין זמן ההתפתחות והטמפרטורה. פונקציה זו נקראת "פונקציית זמן ההתפתחות (DR- developmental rate)". לפונקציה זו חמישה פרמטרים שכולם תוצרי ההתאמה של הפונקציה (T1, T2, k1, k2, c).

בהמשך, שיפרנו את ההתאמה על ידי כיול נוסף של הפרמטרים באמצעות השוואה של תחזיות המודל מול תוצאות ניסויי השדה שפורטו בסעיף הקודם. הכיול בוצע על בסיס שתי פונקציות מטרה: מדד RMSD וערך ה-Bias. בגרף מטה מוצגת פונקציית זמן ההתפתחות המכילת ולידה סט הפרמטרים האופטימליים וערכי פונקציית המטרה האופטימליים:

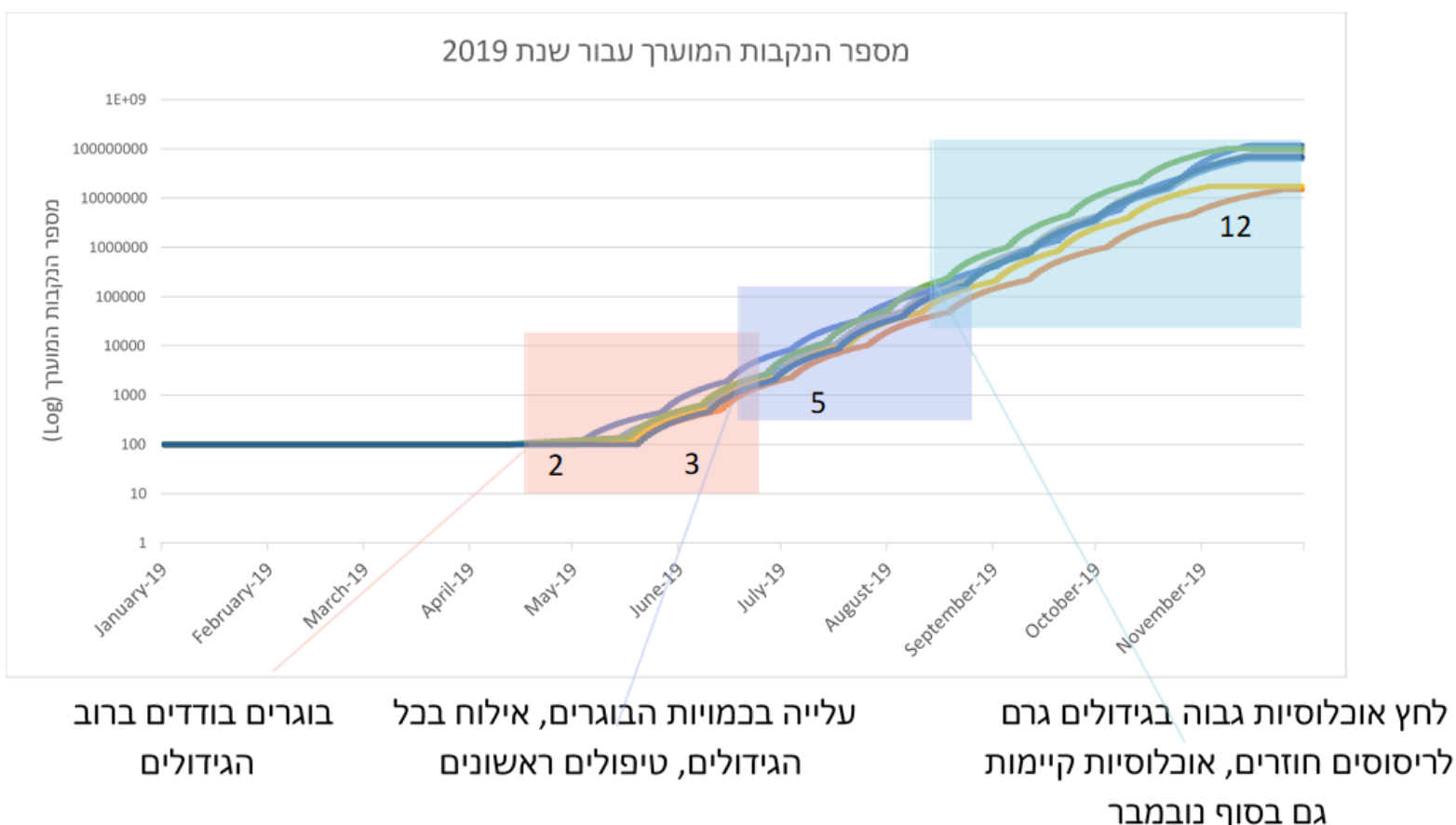
| | |
|-------------|----------|
| K1 | -0.01875 |
| K2 | 1.26 |
| T1 | 10.86 |
| T2 | 35.15 |
| c | -0.1691 |
| Bias (days) | -0.79 |
| RMSD (days) | 2.34 |



איור 2 – פונקציית זמן ההתפתחות המתארת את קצב ההתפתחות של כע"ט מביצה לבוגר כתלות בטמפרטורה. לצד הגרף מפורטים הפרמטרים וערכי פונקציות המטרה לאחר תהליך האופטימיזציה שכלל תוצאות מניסוי מעבדה בטמפרטורות קבועות וניסויי שדה.

4. בדיקת נתוני הסימולציה מהמודל מול תצפיות פקחיות

במהלך עונת הגידול אביב-קיץ 2019 נאסף מידע אודות תצפיות כע"ט משלוש פקחיות מזיקים בעמק החולה. הפקחיות התבקשו לתאר על בסיס שבועי את תמונת המצב של אוכלוסיית הכע"ט בשטחים בהן הן עובדות. השדות המדווחים נבחרו לפי קרבתם לתחנה מטאורולוגית של מו"פ צפון או של השירות המטאורולוגי. התצפיות תועדו על מנת לבצע השוואה למודל המבוסס על התצפיות המטאורולוגיות של התחנות הנבחרות בעמק החולה (המודל פורט בסעיף הקודם). קשרי המחקר עם הפקחיות תורמים גם הם בצבירת הניסיון והידע לגבי האפקליקטיביות של המודל ככלי תומך החלטה במערכות חקלאיות.



איור 3 – הרצת המודל המלא המשלב בין פונקציות החוזות את קצב ההתפתחות, ההטלה והשרידות של כע"ט לאורך עונת הגידול 2019 (התחלת הרצה ב-1.1.2019). יש לשים לב כי סקלת ציר Y (גודל האוכלוסייה) היא לוגריתמית. על פי תחזית המודל, תחילת פעילות משמעותית של כע"ט בשדה בשנת 2019 הייתה בשליש השלישי של חודש מאי. גידול משמעותי (שני סדרי גודל) התרחש בחודשים יולי ואוגוסט (דור חמישי ובהתאמה מלאה לדיווחי הפקחיות). ניתן גם לראות שההגעה המאוחרת של החורף בשנת 2019 (רק בחודש דצמבר נרשמה ירידה משמעותית בטמפרטורות) גרמה לכך שפעילות משמעותית של אוכלוסיות כע"ט נרשמה עד סוף חודש נובמבר 2019 (שוב, בהתאמה מלאה לדיווחי הפקחיות בשדה).

באיור 3 מסוכמות בהכללה התצפיות שעלו מן הפקחיות לאורך העונה. בתחילת העונה, לאורך חודשי אפריל-מאי-יוני נצפו כמויות נמוכות של מעופפים (כנימות בוגרות) ולא נעשו פעולות מנע. בחודשים אלו המודל חזה התקדמות עד הדור השלישי-רביעי. רק בתחילת חודש יולי, יחד עם החיזוי להתחלת דור מספר 5 במודל, התייצבו הדיווחים על אוכלוסיות בוגרים משמעותיות יותר שגם גרמו להחלטה על ביצוע

ריסוסים כנגד כע"ט. לאחר מכן, המשך עליית תחזית גודל האוכלוסייה, לוותה בדיווחים חוזרים ונשנים על לחץ אוכלוסיות משמעותי בהרבה מהגידולים ועל איבוד יעילות הטיפולים הכימיים. המודל חזה בסה"כ 12 דורות עבור רוב התחנות. בסיום העונה ביקשנו מהפקחיות לסכם את העונה באופן כללי: עלה כי הופעת הכנימות הייתה יחסית מאוחרת מניסיון הקודם ובעיקר כי לחץ האוכלוסיות בשדות היה גבוה מהרגיל השנה. יש לציין שהמודל שלנו חזה במדויק את ההגעה המאוחרת של כע"ט לאיזור עמק החולה וכן את הזמן הרלוונטי (דור 5) להתחלת הטיפולים כנגדה. לכן, אין לנו ספק כי הכלי שאנו מפתחים יהיה רלוונטי ושימושי ויאפשר ניהול מושכל של המאמצים להתמודד כע"ט לאורך העונה. על מנת להגיע לתובנות עמוקות יותר על הקשר המיטבי בין עבודת הפקח/ית ליכולת החיזוי הממוחשבת אנו נבצע במהלך השנה הקרובה השוואות דומות בין חיזוי המודל ובין רישומי הפקחיות בשנים קודמות, על ידי מעבר יסודי על מחברות המעקב של הפקחיות והרצת המודל על נתוני הטמפרטורות ההיסטוריים של אותן שנים. כך נוכל לברר באופן אובייקטיבי האם גודל האוכלוסייה בשנת 2019 היה אכן יוצא דופן כפי שחוו הפקחיות בשטח וגם אם הגעת כע"ט לשדות בשנת 2019 הייתה מאוחרת במיוחד כפי שדווח.

דין

על פי המפורט בפרק התוצאות ניתן לראות כי עבודת המחקר בשנה הראשונה עמדה בכל היעדים שהוגדרו. הוקם בסיס נתונים מטאורולוגי (היסטורי ועכשווי) משש תחנות מטאורולוגיות רלוונטיות לאזור המחקר (כל התחנות ממוקמות לאורך ציר דרום/צפון בלב האזור החקלאי של עמק החולה). כמו כן, נאספו נתונים אטמוספריים מ-22 מודלים אקלימיים גלובליים מפרויקט CMIP5 עבור אזור עמק החולה, וכן נאספו נתוני רה-אנליזה מ- NCEP/NCAR ומ- ERA-Interim לאזור המחקר. בהמשך, פותח מנוע מזג האוויר (ראה דוגמא באיור 2 עבור תחנת כפר בלום, כשהאילוץ במקרה זה מגיע מהמודל האקלימי BCC_CSM1 מפרויקט CMIP5 בתרחיש הביניים RCP4.5). כלי זה אפשר לנו לבנות 200 סדרות אקראיות של טמפרטורת יומית מקומית (כלומר, downscaled) עבור כל יום בנתוני מודל ה-CMIP5 ואלו ישמשו בהמשך כקלט למודל החיזוי של ביצועי אוכלוסיית החרקים. בנוסף, בהמשך המחקר, אנו נחשב עבור כל סדרת טמפרטורות, את תדירות גלי החום ואת אורך ועוצמת כל אחד מהם. סדרות זמן נבחרות המייצגות מגוון גלי חום באורך ועוצמה שונים ישמשו בתכנון ניסויי המעבדה (יבוצעו בשנה השנייה של הפרוייקט) כדי לבחון באופן מדויק את התגובה של החרקים לגלי חום.

בנוסף, בצענו סידרה של ארבעה ניסויי שדה לקבלת אומדן מדויק לקצב ההתפתחות, ההטלה והשרידות של כע"ט בתנאי האקלים השוררים בעמק החולה על צמחים פונדקאים שהינם גידולים חקלאיים רלוונטים לאזור. המידע שנאסף בניסויים אלו שימש לכיול ואופטימיזציה של המודל לחיזוי התנהגות אוכלוסיות כע"ט בעמק החולה. מעבר לכך, ניצלנו את קשרי העבודה הטובים שיצרנו עם פקחיות מזיקים וחקלאיים בעמק החולה על מנת לבחון האם נתוני המודל שלנו לאורך העונה מתאימים לתצפיות בזמן אמת אותן מבצעות פקחיות המזיקים ומצאנו התאמה מאוד גבוהה, דבר שיאפשר לנו להציע את הכלי שאנו מפתחים לשימוש הפקחיות כבר בעונת הגידולים 2020.

מבחינת ההיבט הייחודי של עבודה זו לעומת עבודות דומות שנעשו בעבר (יש לציין שלא נעשתה עבודה דומה בארץ) קיימים שני טיפוסים עיקריים של עבודות קודמות על כע"ט: כאלו אשר פיתחו מודלים (פונקציות מתמטיות המתארות את השפעת הטמפרטורה על הטלה, גדילה ושרידות של כע"ט) המבוססים על סידרה של ניסויי מעבדה בטמפרטורות קבועות (למשל: Tsueda and Bonato et al. 2007, Ramos et al. 2011, Tsuchida, 2011) וכאלו המשתמשים במודלים ביו-אקלימיים כמו CLIMEX ו-MaxEnt (Ramos et al. 2018, 2019) על מנת לחזות את הפיזור והשפע של אוכלוסיות כע"ט ברמת יבשת או אפילו באופן גלובלי. היתרון הייחודי של המחקר שלנו בהשוואה לטיפוס הראשון של המודלים הוא שלב הכיול שאנו מבצעים, אשר מאפשר ל"תקן" את הפונקציות המבוססות על ניסויים בטמפרטורות קבועות על פי נתוני ניסויים הנערכים באזור המחקר ומספקים "נתוני אמת" אזוריים. לכן, המודל שאנו מפתחים מדויק יותר בחיזוי דינמיקת האוכלוסיות של כע"ט בעמק החולה מהמודלים הקודמים שפורסמו. היתרון של הגישה שלנו בהשוואה לטיפוס השני של המודלים הוא ההתחשבות בתנאים הספציפיים המתקיימים בזמן נתון באזור המחקר. במודלים יבשתיים/גלובליים משתמשים בדרך כלל על מנת לערוך חיזוי סטטיסטי של הסכנה לפלישה והתבססות של מינים מזיקים באזורים חדשים ולא על מנת לתת כלי עבודה להחלטות אופרטיביות של מגדלים ואנשי הגנת הצומח בסקאלה קטנה אזורית.

לסיכום, המחקר בפרוייקט מתקדם על פי המתוכנן ועומד ביעדים ואבני הדרך שהוגדרו לשנת המחקר הראשונה. בשנה הקרובה (2020) נמשיך לבצע ניסויי שדה בגידולים נוספים על מנת להגדיל את הכוח החישובי של יכולת כיוול המודל. בנוסף, נכניס לשימוש את האינקובטור שנרכש במהלך שנת המחקר הראשונה על מנת לבצע ניסויי מעבדה אשר יידמו גלי חום באורך ועצמה שונים ותערך השוואה בין תוצאות ניסויי המעבדה ותחזיות המודל לסדרות אלו. השוואה זו יכולה להוביל לשינויים נוספים במודל אם יתברר כי קיימת תגובה בלתי צפויה כרגע של כע"ט למשטר טמפרטורות קיצוני רציף. כל זה יאפשר בשנה השלישית את פיתוחם של מגוון כלי חיזוי (זמן אמת, חיזוי לטווח בינוני של מספר ימים, ועונתי). שילוב כלים אלו עם הערכות שנתיות לערכי טמפרטורות, יאפשר לחקלאים בעמק החולה לקבל הערכה הסתברותית על גודל אוכלוסיות כע"ט והשתנותו במהלך העונה וכן לאמוד את הסיכונים להתפרצויות באתרים השונים כבר בתחילת עונת הגידול.

1. Bonato, O., Lurette, A., Vidal, C. and Fargues, J., 2007. Modelling temperature-dependent bionomics of *Bemisia tabaci* (Q-biotype). *Physiological Entomology*, 32: 50-55.
2. Ramos, R.S., Kumar, L., Shabani, F. and Picanço, M.C., 2018. Mapping global risk levels of *Bemisia tabaci* in areas of suitability for open field tomato cultivation under current and future climates. *PloS one*, 13: e0198925.
3. Ramos, R.S., Kumar, L., Shabani, F., da Silva, R.S., de Araújo, T.A. and Picanço, M.C., 2019. Climate model for seasonal variation in *Bemisia tabaci* using CLIMEX in tomato crops. *International Journal of Biometeorology*, 63: 281-291.
4. Tsueda, H. and Tsuchida, K., 2011. Reproductive differences between Q and B whiteflies, *Bemisia tabaci*, on three host plants and negative interactions in mixed cohorts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 141: 197-207.
5. Zidon, R., Tsueda, H., Morin, E. and Morin, S. (2016). Projecting pest population dynamics under global warming: the combined effect of inter- and intra-annual variations. *Ecological Applications*, 26: 1198-1210.