

התאמת אינדקס עומס־חום לבקר (THI) לתנאי הארץ

צפורה גת, צבי זמל, תליה הורוביץ – גף מטאורולוגיה חקלאית, השירות המטאורולוגי
 ישראל פלמנבאום – המחלקה לבקר, שה"מ, משרד החקלאות

מבוא

לתנאי הסביבה ולתנאים האקלימיים השפעה רבה על ביצועי הרבייה וההגבה של פרות חלב גבוהות תנובה. טמפרטורות סביבה גבוהות, במיוחד בשילוב עם לחות גבוהה, יוצרות מצב שבו הפרות אינן מסוגלות להפיג אל הסביבה את החום הרב הנוצר בגופן בתהליכי העיכול והייצור. תנאים כאלה הם תנאי עקת־חום לבקר, המתבטאים בעליית חום הגוף, בשינויים פיזיולוגיים והתנהגותיים ובריידה בתיאבון. כתוצאה מכל אלה חלה ירידה של 50% ויותר בפריון, ופחיתה של 15% ויותר בכושר ייצור החלב.

המדד המבטא את ההשפעה האקלימית על הפרה הוא "מדד עומס־החום" (Temperature Humidity Index = THI) המבוסס על חישובי עומס־חום. מדד זה מחושב באמצעות נוסחה המשלבת את תנאי טמפרטורת הסביבה והלחות היחסית, ומציג ערך נקודתי הבא לבטא את תחושת הפרה בכל נקודת זמן. בניסויים אִמפיריים וסקרי שדה נמצא מתאם שלילי ברור בין מדד זה לבין ביצועי הפרות בתקופת הקיץ. המאמר דן במדד עומס־החום לבקר המקובל בעולם, לאחר התאמת יחידות הנוסחה לשימוש בישראל. בנוסף לכך מוצגים נתונים המתייחסים לערכים יממתיים של עקת־חום הלוקחים בחשבון רק את הערכים השעתיים שהם מעל סף THI של 22 מ"צ. במאמר מופיעים נתונים רב־שנתיים של עקת־חום בחודשי הקיץ בחתך דרום־מערבי צפון־מזרחי המשתרע מאזור החוף לעמק יזרעאל ולבקעת כנרת. כן מוצג ניתוח השוואתי בין החודשים ובין האזורים.

שיטות

העבודה מבוססת על שני מונחים הקשורים ברמת הנוחות של בעלי חיים בקיץ:

◀ **מדד עומס־החום** – THI מציג שילוב של ערכי טמפרטורה ולחות יחסית לנקודת זמן (איור 1).

◀ **ערך עקת־החום היממית** מבטא את משטר עקת־החום ליממה כולה, כאשר הוא סוכם את כל הערכים השעתיים אשר מעל סף של 22 יחידות עומס־חום (THI) (איור 2).

מדד עומס־החום – THI. מדד זה מתבסס על ערכים נקודתיים של טמפרטורה ולחות יחסית, כאשר הטמפרטורה מתבססת על טמפרטורת היבש (Td), והלחות היחסית מתבססת על טמפרטורת היבש (Td) וטמפרטורת הלח (Tw). יש לציין, כי ברוב רובם של המצבים טמפרטורת הלח נמוכה מטמפרטורת היבש.

להלן הנוסחה של עומס־החום THI המבוטאת ביחידות טמפרטורה, במ"צ המקובלות בארץ:

$$THI^{\circ C} = 0.4 (Td + Tw) + 4.4$$

במונחים של תגובת הבקר לעקת־החום, כפי שנבחנה בעבודות שבוצעו בחדרי אקלים בארה"ב והמתורגמות ליחידות צלסיוס, ערך הסף של מדד THI הוא 22 יחידות מ"צ.

באיור 1 מוצג סולם עומס־החום לבקר (THI), המתבסס על שילובים שונים של טמפרטורה ושל לחות יחסית (על פי Wiersma, Arizona, 1990). סולם עומס־חום זה מתבסס על עלון הדרכה למגדלי בקר היוצא לאור מטעם אוניברסיטאות אריזונה וניו־מקסיקו.

להבנת עיבוד ממד THI מובאת בזה דוגמה מתוך איור 1. בנקודת זמן שבה טמפרטורת היבש היא 35 מ"צ וטמפרטורת הלח 28 מ"צ, ערך מדד עומס החום הנקודתי המעוגל הוא קרוב ל-30 יחידות במ"צ, ובהגדרה זה עומס חום בינוני:

$$THI^{\circ C} = 0.4 (35 + 28) + 4.4 = 29.6$$

לחות יחסית בין 10% ועד 60% עומס-החום בינוני, ועם לחות יחסית הגבוהה מ-60% עומס-החום כבד. בטמפרטורה שמעל 39 מ"צ ומעל רמת לחות של 85%, קיים סיכון לתמותת בקר. ברקע של האיור מוצגים נתוני עומס החום בפרנהייט, אשר להם היינו רגילים עד כה, וסימון הקווים (העקומים) הוא בצלסיוס, על מנת להרגיל את הציבור לשינויים.

עקת-החום היממתית. בעוד מדד עומס-החום מתייחס לנקודת זמן בלבד, למטרות הקשורות בתכנון ובלוגיסטיקה חשוב לקבל את התמונה היממתית של עקת-החום, ולמעשה את המסה היממתית שלה, כאשר ערך הסף לחישוב עקת-בחום היממתית הוא 22 יחידות במדד עומס-החום THI.

עוצמת עקת-החום ביממה תלויה במשך שעות העקה, ובמידת קיצוניותה. חשוב לזכור, כי ערכי מדד עקת-החום היממתיים שונים מערכי THI. במסת עקת-החום היממתית נכללים רק ערכים שמעל 22 מ"צ של THI והם מהווים ביטוי למספר השעות מעל 22 THI ולשטח המצוי בתוך תחום העקומה היממתית. בעבודה זאת, בשלב ראשון עובד מדד עומס-החום THI. המדד הושב לכל אחת משעות היממה של החודשים יוני עד אוקטובר לסדרה ארוכה של שנים ל-3 תחנות שבטבלה 1. בשלב שני של העבודה חושבו על בסיס מדד עומס-החום, הערכים היממתיים של עקת-החום וחושבו ממוצעים רב-שנתיים לתחנות המייצגות לחודשים יוני עד אוקטובר.

טבלה 1. מצבת התחנות.

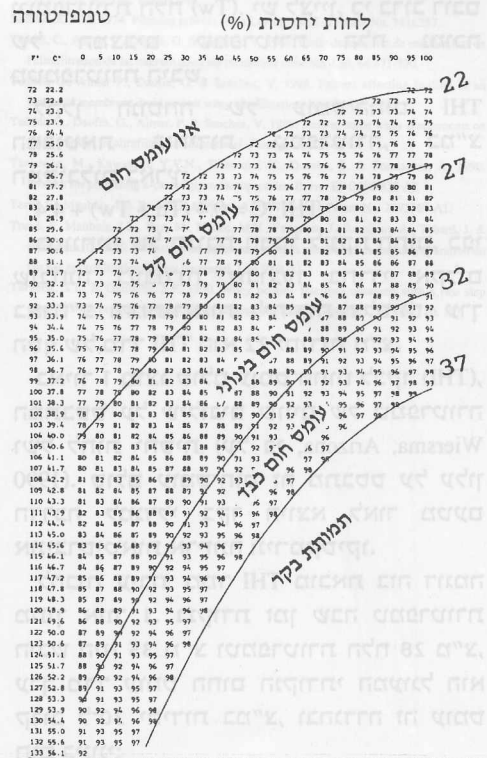
אזור	תחנה	נ"צ	גובה מ'ב'
חוף מרכזי	עין החורש	199/144	30
עמק יזרעאל	רמת דוד	230/168	50
בקעת כנרת	דגניה	235/204	-200

תוצאות

בישראל, דרגות עומס-החום השכיחות הן הקלה והבינונית. עומס-חום כבד נדיר למדי. לכל אחת מדרגות עומס-חום אלה השפעה הולכת וגדלה על ביצועי הבקר.

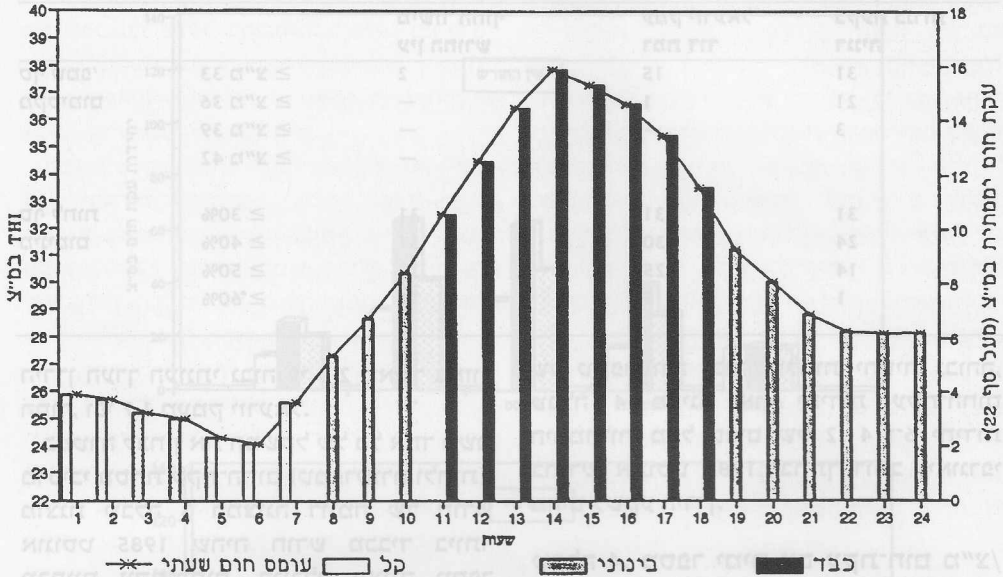
איור 1 מציג 5 דרגות של יחידות מדד עומס-החום (THI) המוצגות בסדר עולה של חומרה: עד 22 מ"צ אין עומס חום
27-22 מ"צ עומס חום קל
32-27 מ"צ עומס חום בינוני
37-32 מ"צ עומס חום כבד
37 מ"צ ומעלה תמותת בקר.

מהאיור ניתן לראות כי ברמה שווה של טמפרטורה, דרגת עומס-החום משתנה בהתאם ללחות היחסית. לדוגמה, בתנאי טמפרטורה של 29 מ"צ, ולחות יחסית עד 20%, אין כלל עומס-חום. באותה הטמפרטורה עם לחות יחסית שבין 15% ועד 70% עומס-החום קל, ובשילוב לחות מעל 70% עומס-החום הוא בינוני. בתנאי טמפרטורה של 38 מ"צ, בשילוב לחות יחסית עד 10%, עומס-החום קל, עם איור 1. סולם עומס-החום לבקר (THI), על בסיס שילובים שונים של טמפרטורה ושל לחות יחסית.



(על-פי) Wiersma, Arizona, 1990

איור 2. ערכים שעתיים של עומס-החום (THI) ושל עקת-החום* מעל סף של 22 יחידות בחוות עדן אשר בעמק בית-שאן, ב-15 באוגוסט 1994.



* באיור המציג יממה קשה בעמק בית-שאן באוגוסט 1994, המסה הימתית שווה לערך של 193 יחידות עקת-חום שעתיות במ"צ, ערך השווה ל-8 יחידות עקת-חום במ"צ ליום.

עצמו מהווה קרוב לשליש מהערך העונתי של עקת-החום. יולי ואוגוסט ביחד מהווים כ-55% מהערך העונתי.

מהאזורים שנבדקו הערך הגבוה ביותר בעונה של עקת-החום נרשם בבקעת כנרות שהיא במזרח המדינה. בשני האזורים המערביים יותר – מישור החוף ועמק זרעאל, הערכים נמוכים במידה משמעותית ביותר, בהשוואה לבקעת כנרות. בעמק זרעאל הערכים גבוהים במידה משמעותית, בהשוואה לאזור החוף. בשקע

טבלה 2 מציגה באופן השוואתי ממוצעים רב-שנתיים של עקת-החום לחודשי העונה החמה, לעונה כולה ולחלק העיקרי של העונה, ל-3 אזורים גידול בקר. ניתן לראות, כי ב-3 האזורים הערך היומי הממוצע לחודש של עקת-החום עולה באופן רצוף מיוני עד לשיא באוגוסט ומשם יורד לקראת הסתיו. מתקופה זאת של 5 חודשים, החודשים יולי-ספטמבר מהווים את שיא העונה, ובהם נרשמים בממוצע 75% מסך האירועים העונתיים. חודש אוגוסט

טבלה 2. ממוצעים רב-שנתיים חודשיים ולעונה של יחידות עקת-חום מעל 22 מ"צ במספר אזורים גידול בקר.

תחנה	ממוצע חודשיים במ"צ						
	יוני	יולי	אוגוסט	ספטמבר	אוקטובר	א' יולי-ספט'	ב' עונתי
עין החורש	22	42	48	34	18	124	164
רמת דוד	33	57	64	45	21	166	220
דגניה	66	99	108	78	33	285	384

טבלה 3. מספר הימים בהם היו ערכים גבוהים של טמפרטורות מקסימום ומספר הימים בהם היו ערכים גבוהים של לחות מינימום מעל ספים שונים, בשלושה אזורים בחודש אוגוסט 1985.

מספר הימים	מ"צ \geq	מישור החוף עין החורש	עמק יזרעאל רמת דוד	בקעת כנרת דגניה
סך טמפ'	33 מ"צ \geq	2	15	31
מקסימום	36 מ"צ \geq	—	1	21
	39 מ"צ \geq	—	—	3
	42 מ"צ \geq	—	—	—
סך לחות	30% \geq	31	31	31
מינימום	40% \geq	31	30	24
	50% \geq	30	25	14
	60% \geq	11	9	1

של טמפרטורה גבוהה ולחות יחסית גבוהה, טבלה 4 מציגה את יחידות עקת-החום היממתיות מעל ספים של 2, 4 ו-6 יחידות בחודש אוגוסט 1985, בחתך רוחב גיאוגרפי מהים לשקע הירדן.

טבלה 4. מספר ימים עם עקת-חום מ"צ/יום בדרגות שונות בחודש אוגוסט 1985.

יחידות עקת חום \geq	מישור החוף עין החורש	עמק יזרעאל רמת דוד	בקעת כנרת דגניה
2 יחידות מ"צ/יום	10	29	31
4 יחידות מ"צ/יום	—	7	23
6 יחידות מ"צ/יום	—	—	6

בחודש אוגוסט 1985 בשלושת ספי עקת-החום (2, 4, 6), מספר הימים עם יחידות עקת-חום במ"צ/יום הוא הגבוה ביותר בבקעת כנרת, וזאת משום הערכים הגבוהים במיוחד של הטמפרטורה, אך גם של הלחות. "קיצוניותה" של בקעת כנרת בהשוואה לשני האזורים האחרים בולטת יותר עם העליה ביחידות עקת-החום. בעמק יזרעאל מספר הימים עם עקת-חום מעל 2 ו-4 יחידות מ"צ ליום גבוה במידה ניכרת, בהשוואה למישור החוף. יש לציין שהטמפרטורות במישור החוף לא היו גבוהות כל כך.

איור 3 מציג ל-3 התחנות ערכי עקת-חום לחודשים בודדים בעונת הקיץ 1988 שהתאפיינה בריבוי בולט של יחידות עקת-חום ובעונת הקיץ 1976 שהתאפיינה במיעוט בולט של יחידות עקת-החום. שתי שנים אלה מוצגות

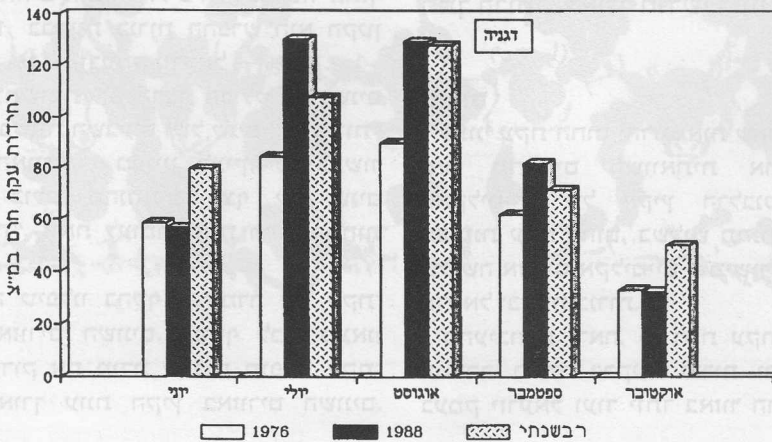
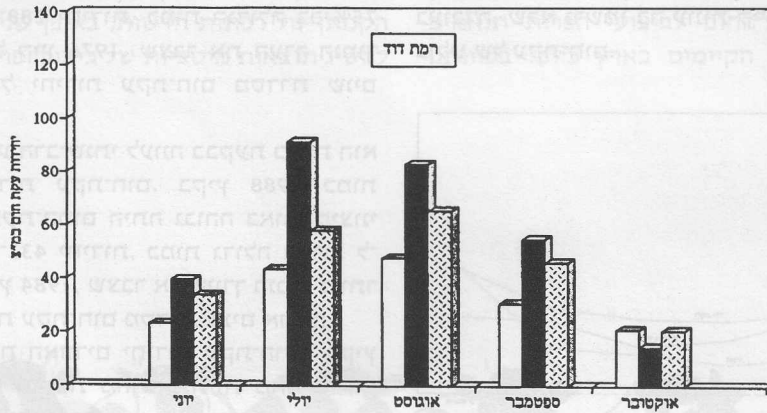
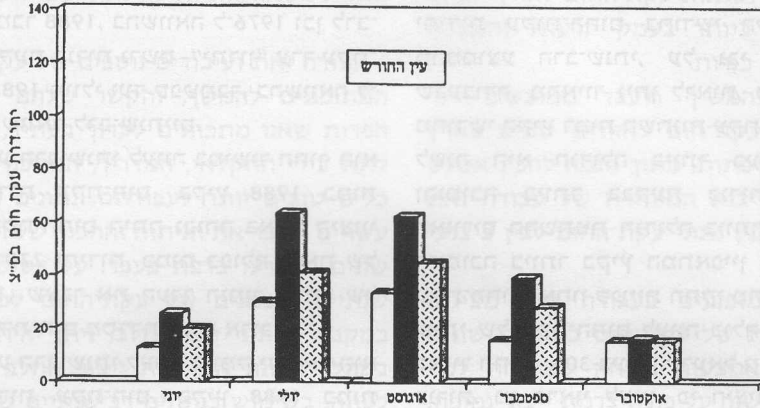
הירדן הערך העונתי גבוה פי 2.3 מאשר באזור החוף, ופי 1.7 מעמק יזרעאל.

במטרה לבחון את המשקל של כל אחד משני מרכיבי נוסחת עקת-החום (טמפרטורה ולחות), מוצגת טבלה 3 המציגה דוגמה של חודש אוגוסט 1985 שהיה חודש מכביד ביותר מבחינת עקת-החום. הטבלה מציגה מספר מקרים בחודש זה, בהם טמפרטורת המקסימום גבוהה מספים שונים ולחות יחסית מינימום גבוהה מספים שונים. הניתוח מוצג ל-3 התחנות עליהן מתבססת העבודה והממוקמות בחתך רוחב גיאוגרפי מהים לשקע הירדן.

בהשוואה בין שלושת האזורים הנבדקים נראה, כי מספר הימים עם ערכים גבוהים של טמפרטורות מקסימום מעל הספים השונים הוא הרב ביותר בבקעת כנרת. מספר ימים כאלה באזור זה הוא פי 2 מעמק יזרעאל בסף טמפרטורה של 33.0 מ"צ והיחס עולה בספי הטמפרטורה הגבוהים יותר. לעומת זאת, בבקעת כנרת מספר הימים עם לחות יחסית מינימום גבוהה מהספים השונים הוא הנמוך ביותר, בהשוואה לשני האזורים האחרים. בעמק יזרעאל מספר הימים עם ערכים גבוהים של טמפרטורות מקסימום רב בהשוואה למישור החוף, יותר מפי 7 בסף טמפרטורה של 33 מ"צ. לעומת זאת, במישור החוף מספר הימים עם לחות יחסית מינימום גבוהה בספים שמעל 40% רב יותר בהשוואה לעמק יזרעאל.

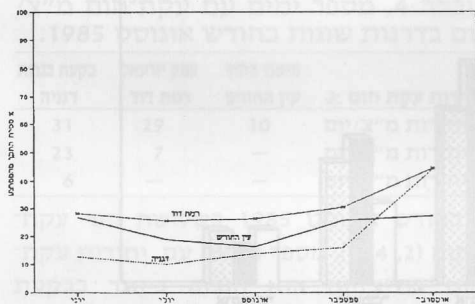
בעוד שבטבלה 3 הוצגו בנפרד מספר ימים

איור 3. ערכי עקת-חום חודשיים לתקופה יוני עד אוקטובר בשנים הקיצוניות בריבוי עקות-חום 1988, ובמיעוט עקות-חום 1976, בהשוואה לרבי-שנתי במישור החוף, עמק זרעאל ובקעת כנרת.



□ 1976 ■ 1988 ▨ רב-שנתי

הכוונה היא לעקוב אחר קביעות התופעה בעונת הקיץ בכל אחד מהאזורים. איור 4 מבטא משתנה זה על ידי הצגת אחוז סטיית התקן של יחידות עקת-החום בחודשי הקיץ השונים מהממוצע הרב-שנתי, על גבי 3 התחנות שבעבודה. מהאיור ניתן לראות, כי בכל אחד מחודשי הקיץ רמות השתנות עקת-החום משנה לשנה היא הגדולה ביותר בעמק יזרעאל והנמוכה ביותר בבקעת כנרת. בשלושת האזורים ההשתנות הגדולה ביותר היא בסתיו והנמוכה ביותר בקיץ המתאפיין ביציבות של עקת-החום. אחוז סטיית התקן מהממוצע הרב-שנתי של עקת-החום לעונה כולה הוא כ-25% באזור החוף, 30% בעמק יזרעאל ו-15% בבקעת כנרת. מן הראוי לציין, כי היציבות המרובה בעקת-החום בבקעת כנרת מתבטאת גם בעובדה, שלא נרשמו בה עונות קיץ עם מיעוט בולט של עקת-החום.



איור 4. רמת השתנות עקת-החום על גבי חתך הרוחב, לאורך חודשי העונה.

סיכום

נתוני עקת-החום והדוגמאות שהוצגו בעבודה זאת מדגימים השוואתית את התנאים האקלימיים של הקיץ הרלבנטיים לפרה מבחינת עקת-החום, בשלוש תחנות המייצגות שלושה אזורים אקלימיים – מישור החוף, עמק יזרעאל ובקעת כנרת.

מהעיבודים נראה, כי רמת עקת-החום היא הגבוהה ביותר בבקעת כנרת והיא פוחתת בעמק יזרעאל ועוד יותר באזור החוף. החודש

בהשוואה לערכים הרב-שנתיים.

מאיור 3 נראה, כי בעין החורש וברמת דוד נרשם "יתרון" בולט של ערך עקת-החום מיוני ועד ספטמבר 1988, בהשוואה ל-1976 וכן לרב-שנתי. בבקעת כנרת נרשם "יתרון" ערך עקת-החום ביולי ועד ספטמבר, בהשוואה ל-1976 ובהשוואה לרב-שנתיים.

הממוצע הרב-שנתי לעונה במישור החוף הוא 164 יחידות עקת-החום. בקיץ 1988 כמות יחידות עקת-החום היתה גבוהה באופן קיצוני והגיעה ל-220 יחידות, כמות כפולה מזאת של קיץ 1976, שצבר את הערך הנמוך ביותר של יחידות עקת-החום מסדרת שנים ארוכה.

הממוצע הרב-שנתי לעונה בעמק יזרעאל הוא 223 יחידות עקת-החום. בקיץ 1988 כמות יחידות עקת-החום היתה גבוהה באופן קיצוני והגיעה ל-288 יחידות, כמות הגדולה בכ-75% מזאת של קיץ 1976, שצבר את הערך הנמוך ביותר של יחידות עקת-החום מסדרת שנים ארוכה.

הממוצע הרב-שנתי לעונה בבקעת כנרת הוא 384 יחידות עקת-החום. בקיץ 1988 כמות יחידות עקת-החום היתה גבוהה באופן קיצוני והגיעה ל-432 יחידות, כמות גדולה בקרוב ל-40% מקיץ 1984, שצבר את הערך הנמוך ביותר של יחידות עקת-החום מסדרת שנים ארוכה.

בשלושת האזורים יחידות עקת-החום בקיץ 1988 היו גבוהות מהרב-שנתיות מחודש יולי ועד סוף העונה. בהשוואה כזאת ההפרש מהרב-שנתי באחוזים הוא הגדול ביותר במישור החוף – 134%, בבקעת כנרת ההפרש הוא הקטן ביותר – 112%, ובעמק יזרעאל – 126%.

ראוי לתשומת לב הרצף הבולט של שנים "נוחות" בשנות השבעים ושל שנים "מכבידות" בעשור האחרון. מעניין לציין, כי בעשור האחרון בולט מהנתונים רצף של שנים "מכבידות", וזאת לעומת שנות ה-70 הנוחות יותר.

עד כה טיפלנו בהקף ובחומרה של עקת-החום באזורים השונים. בנוסף לכך, מצאנו לנכון לבדוק את מידת יציבות תופעת עקת-החום לאורך עונת הקיץ באזורים השונים.

לנסות ולמצוא תשובה לשאלה זאת על ידי הצלבה של נתונים אקלימיים ממבחר גדול של תחנות מטאורולוגיות עם נתוני ספר העדר.

עבודה זאת ועיבודים נוספים של עקת-החום המתוכננים להמשך, והקשר שלהם לביצועי הפרות שאנו מתכוונים לערוך בעתיד, עשויים לתת בידי החקלאי, המדריך, המתכנן והחוקר כלים טובים יותר לעבודתם. נתונים מסוג זה עשויים לשפר את הניתוח וההבנה של תהליכים שונים שאירעו ברפת בעבר. על בסיס נתונים שנתיים משתנים של עקת-החום לכל אזור, במקביל לנתוני ייצור חלב, ניתן יהיה לצפות במהלך העונה את רמת ייצור החלב הצפויה לעונה. בשימוש בנתונים רב-שנתיים של עקת-חום ניתן יהיה לתכנן טוב יותר את מיקום הקמתן של רפתות חדשות, באופן שניתן יהיה להשיג תוצאות מיטביות של ביצועי פרות.

הקשה בכל האזורים הוא אוגוסט. עקת-החום בחודשים יולי-ספטמבר מהווה כ-75% מעקת-החום בעונה. השתנות עקת-החום לאורך העונה היא הגבוהה ביותר בעמק יזרעאל והנמוכה ביותר בבקעת כנרת.

בכוונתנו להמשיך ולעבד ממוצעים רב-שנתיים של עקת-חום לאזורים שונים בארץ בהם קיימות רפתות, מתוך מגמה להכין אטלס מתאים. החשיבות המיוחדת של עבודה זאת היא בקשר שבין נתוני עקת-החום לבין ביצועי הפרות.

הנתונים המופיעים בעבודה זאת מציגים עוצמות שונות של עקת-חום באזורים שונים של הארץ באמצעות נוסחה שפותחה לפני למעלה מ-30 שנה על פרות ברמת ייצור נמוכה. נשאלה השאלה, האם הקשרים שתוארו בין עוצמת עקת-החום לביצועי הפרות תואמים את התנאים הקיימים בארץ כיום. בכוונתנו

