

מדינת ישראל



אנרגיה במבנים

משרד התשתיות הלאומיות  
אגף מחקר ופיתוח



השירות המטאורולוגי

משרד התחבורה  
השירות המטאורולוגי

## סיווג ישובים מעודכן לצורך בידוד תרמי לפי קריטריונים אקלימיים מוגדרים

אבנר פורשפן שרה רובין

השירות המטאורולוגי

החטיבה למטאורולוגיה יישומית

יואב בנימיני רחל בקר

הטכניון

אוניברסיטת ת"א

העבודה ממומנת על ידי משרד התשתיות הלאומיות

(הזמנה מס' 99-11-010)

בית דגן, נובמבר 2000

## תוכן העניינים

### תקציר

7	1. מטרת המחקר
7	2. בחירת שיטת העבודה
7	2.1 ניסיונות בשיטה כמותית מפורטת
8	2.2 שיטת ניתוח האשכולות
9	3. בסיס הנתונים המטאורולוגיים
9	4. ניתוח התוצאות
12	5. סיווג התחנות המשתתפות במחקר
13	6. סיווג היישובים לאזורים האקלימיים
13	6.1 שיקולים והנחיות כלליות
14	6.2 סיווג היישובים
15	6.3 הנחיות לסיווג יישובים חדשים
16	7. סיכום
17	הבעת תודה

### מפות וטבלאות

#### מפה 1 וטבלאות 1-6: תחנות המדידה

מפה 1: מיקום תחנות המדידה

טבלה 1: רשימת התחנות – נתונים גיאוגרפיים.

טבלה 2: רשימת התחנות ובסיס הנתונים להפרדת תחנות אזור ד'.

טבלה 3: רשימת התחנות ובסיס הנתונים להפרדת תחנות אזור ג'.

טבלה 4: רשימת התחנות ובסיס הנתונים להפרדת תחנות אזור ב' בקיץ.

טבלה 5: רשימת התחנות ובסיס הנתונים להפרדת תחנות אזור ב' בחורף.

טבלה 6: שיוך התחנות לאזורים האקלימיים

### **מפה 2 וטבלאות 7-10: סיווג היישובים לאזורי אקלים לבידוד תרמי**

מפה 2 : סיווג היישובים לאזורי אקלים לבידוד תרמי.

טבלה 7: רשימת כל היישובים וסיווגם לאזורי אקלים לבידוד תרמי.

טבלה 8: רשימת יישובי אזור ד'.

טבלה 9: רשימת יישובי אזור ג'.

טבלה 10: רשימת יישובי אזור ב'.

### **מפה 3: אזורי אקלים לבידוד תרמי**

נספח: חישוב הטמפרטורה הממוצעת באמצעות רגרסיה עם משתנים גיאוגרפיים

Summary

## תקציר

התקן הישראלי הנוכחי לבידוד תרמי של בנייני מגורים (ת"י 1045) חובר בשנות השמונים. התקן מבחין בין ארבעה אזורי אקלים, ומסמן אותם באותיות א' עד ד'. מכון התקנים, שביקש לעדכן את התקן, פנה לשירות המטאורולוגי בבקשה להגדיר קריטריונים אקלימיים, ולסווג לפיהם את היישובים במדינת ישראל לאזורים (קטגוריות) שימשו עבור תכנון הבידוד התרמי.

המחקר התבסס על ניתוח נתונים מ-91 תחנות מטאורולוגיות. העבודה כללה שילוב שתי שיטות לניתוח אשכולות (K-means והשיטה ההיררכית), כאשר ההפרדה בין האזורים בוצעה בשלבים, על פי הטמפרטורות הממוצעות בקיץ ובחורף. ממצאי המחקר הדגישו את השפעה של המבנה הטופוגרפי המקומי בקביעת הסיווג, נוסף לגורמים רלוונטיים מקובלים, כגון הגובה מעל פני הים והמיקום הגיאוגרפי הכללי. השפעה זו הפכה את ההפרדה בין האזורים א' וב' במישור החוף לבלתי אפשרית. לאור זאת, מחלק הסיווג הנוכחי את ישראל לשלושה אזורים בלבד, לעומת ארבעה בתקן הקיים, כאשר השינוי המהותי הוא ביטולו של אזור א' ומיזוגו עם אזור ב'.

על פי המידע שהתקבל מניתוח נתוני התחנות נקבעו מספר הנחיות כלליות, המתבססות על הגדרות גיאוגרפיות, שהקלו על סיווג מרבית היישובים. עם זאת, עבור חלק מהיישובים תהליך הסיווג היה מורכב יותר בשל סמיכותם לאחד מהגבולות המפרידים בין האזורים (גבול בין אזור ב' לאזור ג' או גבול בין אזור ב' לאזור ד'). סיווג יישובים אלו לאחד מהאזורים נעשה על פי אומדן הטמפרטורה הממוצעת שלהם בקיץ ובחורף. לצורך אומדנים אלו פותחו, על בסיס נתוני התחנות המטאורולוגיות, משוואות רגרסיה הקושרות בין הטמפרטורות הממוצעות למשתנים גיאוגרפיים. בחורף נעשה שימוש בגובה מעל פני הים, בקואורדינטת הרוחב (השתנות בציר צפון-דרום) ובייצוג להשפעת המבנה הטופוגרפי המקומי באמצעות משתנה דמה. בקיץ נלקחו בחשבון הגובה מעל פני הים והמרחק מהחוף. בתהליך הסיווג נעשה מאמץ לשמור על רצף גיאוגרפי ולהימנע מפיצול יישובים.

## 1. מטרת המחקר

התקן הישראלי לבידוד תרמי של בניינים (ת"י 1045) מבחין בין ארבעה אזורי<sup>1</sup> אקלים, ומסמן אותם באותיות א' עד ד'. דרישות הבידוד הקלות ביותר הן עבור אזור א', והחמורות ביותר – עבור אזור ד'. אקלים כל אחד מארבעת האזורים מאופיין על ידי האקלים של יישוב מייצג, הנמצא בתחומו: אזור א' – תל אביב; אזור ב' – באר שבע; אזור ג' – ירושלים; אזור ד' – אילת. ההנחה בתקן הנוכחי היא שחלוקת היישובים השונים לאזורים האקלימיים מתבססת על דמיון האקלים של אותם היישובים לאקלים היישובים המייצגים. ואכן, ברשימת היישובים המובאת בנספח לתקן, ובעבודה מאוחרת יותר של מ. הופמן<sup>2</sup>, נקבע הדמיון על סמך השוואה של ערכי המשתנים המטאורולוגיים של היישובים לאלו של היישובים המייצגים. במקומות בהם חסרו נתונים התבצעה השוואה על סמך אומדנים שהתבססו, בדרך כלל, על הערכה סובייקטיבית.

מטרת העבודה הנוכחית הייתה להגדיר קריטריונים להפרדה בין אזורים אקלימיים לצורך דרישות הבידוד התרמי שבתקן הישראלי ת"י 1045, ולחלק את היישובים השונים לאזורים לפי אותם הקריטריונים – תוך שימוש בנתונים מטאורולוגיים מעודכנים ומהימנים ממספר רב של תחנות ככל האפשר. בשלב ראשון בוצעו הפרדה וסיווג של תחנות עבור קיימים נתונים מדודים, ומאוחר יותר, על סמך נתוני התחנות וגורמים גיאוגרפיים, שיוכו יתר היישובים.

## 2. בחירת שיטת העבודה

### 2.1 ניסיונות בשיטה כמותית מפורטת

לפי התפיסה המבוטאת בתקן, משתמשים בבידוד תרמי באלמנטי המעטפת של בניינים כדי להשיג שלוש מטרות עיקריות במקביל:

- הפחתת הסיכון לפגימה בנוחות התרמית עקב חילופי חום יתרים בקרינה בין גוף האדם לאלמנטי הבנייה.

- חיסכון באנרגיה.

- הפחתת הסיכון לעיבוי על גבי המשטחים הפנימיים של אלמנטי המעטפת בתקופות אשר בהן טמפרטורת אוויר החוץ נמוכה מטמפרטורת האוויר בתוך הבניין.

מתוך רצון לטפל בבעיה באופן ישיר ככל האפשר, נבחנה שיטה כמותית מפורטת. השיטה התבססה על משוואות, הקושרות בין ההתנהגות הסובייקטיבית של הדיירים (רמת האוורור ומקורות הלחות הפנימיים בדירה) והמשתנים המטאורולוגיים (טמפרטורה ולחות של אוויר החוץ, לדוגמה) לבין הגורם ההנדסי – ההתנגדות התרמית של קירות/תקרת הבניין. המשוואות הניחו מצב תמידי (steady state) כדי לפשט את הניתוח וכדי להתחשב במגבלות שנבעו מאופי הנתונים. נתונים אלו כללו מדידות תלת-שעתיים של טמפרטורה יבשה ולחה.

לשם הצגת הדרישות לנוחות תרמית בחורף נעשה שימוש בטמפרטורת אוויר החוץ בשעות הלילה בחודשים ינואר ופברואר, מתוך הנחה שטמפרטורת אוויר הפנים היא  $21^{\circ}\text{C}$  ודרישה שטמפרטורת המשטחים הפנימיים לא תפחת מ- $18^{\circ}\text{C}$ . בקיץ נעשה שימוש בטמפרטורת אוויר החוץ בשעות היום בחודשים יולי ואוגוסט, מתוך הנחה שטמפרטורת אוויר הפנים היא  $24^{\circ}\text{C}$  ודרישה שטמפרטורת המשטחים הפנימיים לא תעלה על  $27^{\circ}\text{C}$ . לצורך חישוב דרישות הבידוד להפחתת הסיכון לעיבוי בחורף נעשה שימוש בטמפרטורת הטל בתוך הבניין. טמפרטורה זו נקבעה במצב, בו תרומת מקורות הלחות הפנימיים נובעת מנוכחות שני אנשים בחדר בעל חלונות ודלת סגורים (הסתננות אוויר של כ-0.5 לשעה), ששטח רצפתו 10 מ"ר.

<sup>1</sup> המינוח "אזור" משמש, בהקשר הבידוד התרמי, במובן קטגוריה. אין הכוונה בהכרח לאזור גיאוגרפי מוגדר.

<sup>2</sup> הופמן מ. ור. מישורי, 1996: קביעת האזור האקלימי עבור יישובים שבטיפול משרד הבינוי והשיכון. המכון הלאומי לחקר הבנייה.

ישימות השיטה נבחנה עבור נתונים ממספר תחנות מרכזיות. התברר, שקיימת בעיה בחישובים שבוצעו עבור הדרישה להפחתת הסיכון לעיבוי. בהנחות היסוד נלקחה בחשבון, כאמור, תחלופת אוויר של 0.5 לשעה. חישוב טמפרטורת הטל בתוך החדר מתבסס על חיבור הלחות המוחלטת בחוץ עם תרומת הלחות של המקור הפנימי, כאשר האחרונה גדלה עם ההפחתה בתחלופת האוויר. בחישוב הנוכחי לא נלקחה בחשבון ספיחת אדי המים על ידי הפצים, ריהוט, בגדים, מצעים וחומרי גמר סופחים הנמצאים בחדר. הדבר גרם למספר רב של מקרים, בהם התקבלו לחויות יחסיות גבוהות מ-100% בתוך החדר. היה ברור שתוצאה זו אינה סבירה, ובזכות הספיחה הקיימת הערכים המקסימליים בלחויות יחסיות גבוהות אינם מגיעים ל-100%. כדי לספק פתרון לבעיה נבדק מצב בעל ערך סף עליון של 85% ללחות היחסית בתוך החדר. המשך הניסיונות לבדיקת השיטה כלל מבחני רגישות, בהם הסתבר ששינוי קטן מאד בערך הלחות המקסימלית גרם לשינוי משמעותי בערך ההתנגדות התרמית הנדרשת. למרות שערך סף של 85% הוא ערך סביר, המגובה בתוצאות מדידות, ברור היה שהרגישות הגבוהה אינה מאפשרת קביעה חד-משמעית של ההתנגדות התרמית. לאור מסקנה זו, ולאחר התייעצות עם הגורם המזמין, הוחלט לסגת מהשיטה המפורטת ולנסות גישה, המבוססת על השוואה כמותית בין פרמטרים מטאורולוגיים בלבד (ללא התייחסות ישירה לדרישות הבידוד התרמי).

עיבוד הנתונים בגישה החדשה שנבחנה התבצע על ידי ניתוח אשכולות (cluster analysis). לאחר ניסיונות רבים הוחלט שהשיטה ישימה למטרות הפרוייקט, ונקבעה המתודולוגיה של השימוש בה. פירוט ההחלטות הנוגעות לשיטה והסבר לגבי ההיגיון העומד מאחרי ההחלטות הללו מובא בסעיף הבא.

## 2.2 שיטת ניתוח האשכולות

מקובל להבחין בין שתי שיטות עיקריות של ניתוח אשכולות: השיטה ההיררכית (hierarchical method) ושיטת ה-K-means. ישנם יתרונות וחסרונות לכל אחת מהשיטות הנ"ל, אולם בסופו של דבר נמצא ששילובן הוא המתאים ביותר לצורך המחקר. מחד, החלוקה הקיימת בתקן מבוססת על שיוך לאחד מארבעה אזורים. הדרישות עבור כל אזור נקבעו על פי ידע שנאסף במחקרים, אשר התייחסו לנתונים זמינים עבור היישוב המייצג בכל אזור. הגיוני היה, אם כן, שמרכזי האשכולות ייקבעו על פי נתוני היישובים המייצגים. בשיטת ה-K-means ניתן להגדיר זאת מראש, אך בשיטה ההיררכית אין הדבר אפשרי. שיקול זה הכתיב גם בחירה בשיטה של שיוך למרכזים קבועים (שאינם נעים במהלך ניתוח האשכולות) ולא בשיטה איטרטיבית (בה מיקום המרכזים עצמם משתנה עד לסידור המיטבי). מאידך, הניסיונות הרבים שנעשו הביאונו לידי מסקנה, שהפרדה בין האזורים חייבת להתבצע בשלבים, לפי הגישה ההיררכית – באמצעות עצי החלטה (clustering tree). בכל שלב נעשה שימוש במשתנה בודד, שזוהה קודם לכן כמשתנה המפריד הפוטנציאלי הטוב ביותר, ועל פיו בוצעה החלוקה לשני אשכולות בלבד.

השלבים עליהם הוחלט הם:

1. הפרדת אזור ד' משאר האזורים. ההבחנה בין התחנות השייכות לאזור זה לבין שאר התחנות נעשתה על בסיס הטמפרטורה היממתית הממוצעת בחודשי הקיץ (יולי-אוגוסט). יריחו היוותה מרכז לתחנות אזור ד', ובאר שבע ייצגה את שאר התחנות.
2. לאחר הוצאת תחנות אזור ד' הופרדו תחנות אזור ג' משאר התחנות. הקריטריון הפעם היה הטמפרטורה היממתית הממוצעת בחודשי החורף (ינואר-פברואר). ירושלים היוותה מרכז לתחנות אזור ג' ובאר שבע ייצגה את שאר התחנות.
3. הקריטריונים להפרדה בין האזורים א' ל-ב' היו טמפרטורת המקסימום הממוצעת בקיץ והטמפרטורה היממתית הממוצעת בחורף. במקרה זה, אמורה הייתה ההבחנה להתבצע לא לפי שני המשתנים יחד – אלא לפי כל אחד מהם בנפרד. הסיבה לשימוש בשני משתנים, כל אחד בתורו, לצורך הפרדה, נבעה מהגישה הקיימת בתקן הנוכחי. על פי גישה זו, ביישוב, המשתייך לאזור א' על פי תנאי החורף, אך משתייך לאזור ב' לפי משתנה יחיד של קיץ, תיקבענה דרישות הבידוד לקירות לפי אזור א', ודרישות הגג – לפי אזור ב'.

באר שבע היוותה מרכז לתחנות אזור ב', ותל אביב ייצגה את תחנות אזור א'. תוצאות ניתוח זה העלו מספר בעיות אשר הביאונו למסקנה שמבחינה מעשית לא ניתן להפריד בין שני האזורים, ולהחליט כי מבחינת התקן יש לאחד אותם. הנימוקים להחלטה זו יובאו בהמשך.

השייך לאשכול מסוים התבצע אם המרחק של תחנה למרכז של אותו האשכול היה קטן ממרחקה למרכז האשכול האחר. עם זאת, לאור העובדה שקיימת אי-ודאות מסוימת בקביעת הערכים הממוצעים, נלקחה בחשבון גם שגיאת התקן של ממוצע ההפרש בין התחנה למרכז המחמיר מבין השניים. שיקול זה העביר לעתים תחנות מאזור מחמיר פחות לאזור מחמיר יותר, כאשר הערך בתחנות היה קרוב מאד לערך האמצעי שבין שני המרכזים. סוגיית הסטייה מהכלל הבסיסי תידון בהמשך – בפרק התוצאות. הואיל ובכל שלב נעשה שימוש במשתנה יחיד (טמפרטורה), לא היה צורך בתקנון (נרמול) המשתנים והמרחקים נמדדו במעלות צלזיוס.

מספר הערות לגבי קביעת המרכזים והמשתנים המשמעותיים:

- א. נעשו ניסיונות לשלב יותר ממשתנה אחד, אולם נמצא שהשימוש במספר משתנים עלול לטשטש הבדלים בין יישובים ולהקשות על ההבחנה. כדוגמה ניתן להביא את ירושלים ולכיש. קיים הבדל ברור בין שני המקומות כאשר מתייחסים לטמפרטורה הממוצעת בחודשי החורף – ירושלים קרה יותר באופן משמעותי. לעומת זאת, טמפרטורות המינימום הממוצעות זהות בשני המקומות. מכאן, ששילוב שני המשתנים באלגוריתם של ניתוח האשכולות יגרום להתקרבות בין ירושלים ולכיש, לעומת מצב, בו נעשה שימוש בטמפרטורה הממוצעת בלבד.
- ב. במסגרת בחינת הקריטריונים להפרדה נבדקה גם האפשרות להשתמש בימי מעלה קירור בקיץ (יולי-אוגוסט) ובימי מעלה הסקה בחורף (ינואר-פברואר). הבדיקות העלו שאין תוספת מידע כאשר משתמשים במשתנים אלו לעומת השימוש בטמפרטורות הממוצעות בלבד. גם כאשר נלקחו ערכים שנתיים של משתנים אלו לא התקבלה תמונה אחרת, וההחלטה להיצמד לנתוני הטמפרטורות הממוצעות נשארה בעינה.
- ג. הוחלט להשתמש ביריחו כמרכז אזור ד' במקום באילת, כיוון שאילת מייצגת אקלים קיצוני בספקטרום של התחנות החמות. הצבתה של אילת כמרכז בתהליך ניתוח האשכולות הייתה גורמת לשיוכן של תחנות חמות מאד, כגון דגניה, גינוסר ועין הנציב, לאזור ב', בעוד שברור כי הן שייכות לאזור ד'.
- ד. אזור ב' גובל גם באזור ד' (בעונת הקיץ) וגם באזור ג' (בעונת החורף). זו הסיבה לשימוש בבאר שבע כמרכז בשני השלבים.

### 3. בסיס הנתונים המטאורולוגיים

לצורך ניתוח האשכולות נבחרו 91 תחנות מרחבי הארץ לאחר בקרה ותקנון כמפורט להלן. רשימת התחנות מובאת בטבלה 1, ופריסתן הגיאוגרפית מוצגת במפה 1. הוחלט על מספר רב של תחנות מתוך ציפייה שהדבר עשוי להקל על סיווג היישובים בשלב השני של הפרוייקט. התקופה שנמצאה מתאימה ביותר לעיבוד נתוני התחנות היא 1984-1994. האחדת התקופה לכל התחנות הייתה חיונית לצורך השוואה מהימנה בין האזורים השונים.

#### בקרת הנתונים

כדי להבטיח את אמינות הנתונים עברו התחנות בקרה באמצעות מערכת בדיקות, שעיקרה השוואה בין מדידות הטמפרטורה לסוגיהן: טמפרטורות מינימום ומקסימום יומיות, הטמפרטורה היבשה בשעת התצפית וטמפרטורת תרמומטר לח הגולה באותה שעת תצפית. כן נבדקו הנתונים הקיצוניים בהתפלגות.

## הומוגניות הנתונים

כאשר מדובר בתקופות זמן ארוכות ייתכנו שינויים במדידות האלמנטים האקלימיים, שאינם תוצאה של שינויים במשטר האקלים, כי אם של שינויים בתנאי המדידה בתחנה הנבדקת.

הסיבות העיקריות לשינויים אלה הן:

- א. שינוי מקום התחנה.
- ב. שינוי או תקלה במכשיר המדידה.
- ג. שינויים שחלו בסביבת התחנה, כגון שינוי תכסית (בנייה או צמחייה).

כל התחנות עברו בדיקות הומוגניות במטרה לאתר בעיות מדידה מסוג זה. בדרך כלל, לא ניתן לאתר בעיות אלו בתהליך הבקרה השגרתי שתואר לעיל, אך הן עלולות להשפיע באופן קריטי על תוצאות החישובים. איתור תחנות לא הומוגניות ותיקון נתונין התבצע באמצעות בדיקת ההפרשים בין נתוני הטמפרטורה של שתי תחנות, הסמוכות זו לזו ככל האפשר, לאורך תקופת המדידה. אם נצפתה מגמה בולטת במהלך ההפרשים לאורך התקופה, הצביע הדבר על אפשרות שאחת התחנות אינה הומוגנית.

בקרת הנתונים ובדיקות ההומוגניות הצביעו על בעיות מדידה במספר תחנות. כתוצאה מכך, הוחלט לוותר לחלוטין על תחנות אחדות, ובתחנות אחרות הוחלט לוותר על חלק מהתקופה.

### תקנון הנתונים לתקופה אחידה

לא בכל התחנות שנבדקו בוצעו מדידות רציפות ומלאות בתקופה 1984–1994. יש תחנות שמדדו רק בחלק מן התקופה ויש תחנות שבתקופה זו לא מדדו כלל, אך יש להן נתונים מתקופה מוקדמת יותר. לשם האחדת הנתונים לתקופה 1984–1994 תוקנו כל התחנות שלא פעלו בתקופה זו בצורה מלאה. התקנון נעשה על פי רגרסיה עם תחנות קרובות שפעלו במקביל לתחנה המתוקנת ובתקופה הנבחרת במלואה.

## 4. ניתוח התוצאות

בטבלה 2 מוצגים הנתונים הרלוונטיים של כל 91 התחנות. הטמפרטורה הממוצעת היא ממוצע של הטמפרטורה היומית, המחושבת כממוצע אריתמטי של טמפרטורות המקסימום והמינימום היומיות בתקופה 1984–1994.

מתוך הטבלה ניתן לבודד את ערכי המרכזים של ארבעת האזורים. כאמור, ההפרדה בין תחנות אזור ד' לשאר התחנות התבצעה על פי הטמפרטורה הממוצעת בחודשים יולי-אוגוסט. המרכזים הרלוונטיים לשלב זה הם יריחו ובאר שבע (מודגשים). הטמפרטורה הממוצעת ביריחו היא  $30.4^{\circ}\text{C}$ , ואילו בבאר שבע  $26.5^{\circ}\text{C}$ . לפי הכלל הבסיסי תשוך תחנה לאזור ד' אם הטמפרטורה הממוצעת שלה קרובה יותר לזו של יריחו מאשר לזו של באר שבע. במלים אחרות, תחנות שהטמפרטורה הממוצעת שלהן גבוהה מ- $28.4^{\circ}\text{C}$  (הממוצע בין יריחו לבאר שבע) תשוכנה לאזור ד'. תחנות אלו מופיעות ראשונות ברשימה, ואזור ד' מיוצג על ידי אשכול 2 (בעמודה "מרחק" מוצג המרחק של התחנה מהמרכז הקרוב אליה – במעלות צלזיוס).

כפי שהובהר בפרק השיטה, נלקחה בחשבון גם שגיאת התקן של ממוצע הפרש (standard error of the mean) בין התחנה למרכז המחמיר מבין השניים. החישוב בוצע על פי הנתונים השנתיים (11 במספר – מ-1984 עד 1994), כאשר לצורך החישוב נבחרו תחנות שפעלו בשלמות לאורך כל התקופה. שגיאות התקן שהתקבלו היו בערכים של פחות מ- $0.1^{\circ}\text{C}$ . כדי להתחשב באי-ודאות זו, ומתוך רצון להחמיר, הורדנו את סף המעבר מאזור ב' ל-ד' ל- $28.3^{\circ}\text{C}$ . כפי שניתן לראות בטבלה מס' 2, החמרה זו לא שינתה את התפלגות התחנות בין שני האזורים. התחנה הקרובה ביותר לערך זה היא בקעת עובדה, שגם לאחר התיקון נמצאת במרחק של כ- $0.2^{\circ}\text{C}$  מהגבול.



התמונה המתקבלת לאחר שלב זה היא של הפרדה ברורה בין 14 תחנות בקעת הירדן, הערבה והחלק המזרחי של עמק יזרעאל לשאר התחנות.

בשלב הבא נדרש לבדוק אלו תחנות שייכות לאזור ג' – השני מבחינת חומרת דרישותיו. בטבלה 3 מוצגת רשימת 77 התחנות שנתרו לאחר הוצאת תחנות אזור ד'. התחנות מסודרות לפי הטמפרטורה הממוצעת בחורף, בסדר עולה, כאשר התחנה הקרה ביותר (מירון) בראש הרשימה. המרכזים הרלוונטיים לשלב זה הם ירושלים-מרכז ובאר שבע (מודגשים). הערך הגבולי במעבר מאזור ג' (אשכול 2) לשאר האזורים הוא  $10.4^{\circ}\text{C}$ . סביב ערך זה מצטופפות מספר תחנות, שהטמפרטורה שלהן גבוהה אך במעט מהערך הגבולי. חישוב שגיאת התקן של ממוצע ההפרש מהמרכז המחמיר משמעותי במקרה זה לעניין סיווג התחנות, הרבה יותר מאשר בהפרדת התחנות של אזור ד'. עקב שינוי גדול יותר של ערכי הטמפרטורה בחורף התקבלו שגיאות תקן בין  $0.1^{\circ}\text{C}$  ל- $0.2^{\circ}\text{C}$ . לשם ההחמרה, נעשה שימוש בערך הגבוה יותר, והמשמעות הייתה העלאת הערך הגבולי ל- $10.6^{\circ}\text{C}$ . כתוצאה מזה נכנסו התחנות מעלה גלבו, עבדת, אריאל, ערד וצומת ערוער לאזור ג' (היישוב ערוער סווג לבסוף לאזור ב' על פי שיקולים שיפורטו להלן בסעיף 6).

התמונה המתקבלת לאחר חלוקה זו מורכבת מעט יותר מהתוצאה שהתקבלה בשלב הקודם. אמנם, כל התחנות הגבוהות מ-500 מטר נכללו באזור ג', אך נכללו בו גם תחנות נמוכות יותר, בעוד שתחנות אחרות, הגבוהות מהן, שויכו לאזור המחמיר פחות. כדוגמה ניתן להביא את אבני איתן (גובה 375 מטר) – ששויכה לאזור ג', בעוד שתחנת נצרת, הגבוהה ממנה בכמעט 100 מטר, שויכה, על פי הסף שהוגדר, לאזור ב' (סיווג העיר היה מורכב יותר – ראה פירוט בסעיף 6). אין ספק שלטופוגרפיה המקומית תפקיד חשוב ביצירת הבדלים אלה. כל התחנות הנמוכות מ-500 מטר (למעט מעלה גלבו), אשר שויכו לאזור ג', מאופיינות במבנה שטח מישורי מאד, נטול שיפועים ובדרך כלל נמוך ביחס לסביבתו. בתנאים אלו, התקררות קרינתית משמעותית והתנקזות של אוויר קר (בעיקר בלילות בהירים נטולי רוח) גורמים לטמפרטורות מינימום נמוכות מאד ומשפיעים באופן ניכר על ירידת הטמפרטורה היומית הממוצעת.

השלב האחרון בניתוח זה הוא הניסיון להפריד, מתוך 50 התחנות שנתרו, בין תחנות אזור ב' לתחנות אזור א'. באר שבע מייצגת שוב את המרכז של אזור ב', בעוד שתחנת שדה דב מהווה את מרכזו של אזור א'. כאמור, ניתוח האשכולות התבצע בנפרד – פעם לפי טמפרטורת המקסימום בקיץ ופעם לפי הטמפרטורה הממוצעת בחורף.

טבלאות 4 ו-5 מציגות את הנתונים הרלוונטיים ואת החלוקה לפי כל אחד מהמשתנים. הדבר הבולט מההשוואה בין הטבלאות הוא מספר גדול יותר של תחנות השייכות לאזור ב' (אשכול 2) לפי קריטריון החורף (34), ולמעשה אף 36 – אם מחשיבים את התחנות הנמצאות בגבול ממש ( $12.6^{\circ}\text{C}$  –), לעומת מספרן לפי קריטריון הקיץ (27). שימוש בשגיאת התקן של ממוצע ההפרש בטמפרטורת המקסימום בקיץ (כעת מול תחנת באר שבע) יעביר תחנה אחת בלבד (אבן יצחק) לאזור ב' (שגיאת התקן היא בתחום של עד  $0.2^{\circ}\text{C}$ ). בחורף, לעומת זאת, תעבורנה 8 תחנות (בטמפרטורות של  $12.7^{\circ}\text{C}$  עד  $12.8^{\circ}\text{C}$ ) לאזור ב' עם הפעלת אותו שיקול. בסופו של דבר מסתבר שרק שש תחנות שייכות לאזור א', הן משיקולי חורף והן משיקולי קיץ: נהריה, גבע כרמל, שדה דב, יפו, חפץ חיים ועזה. מתוך שש התחנות חמש מייצגות אזור חופי, ורק תחנת חפץ חיים מייצגת אזור פנימי יותר (כ-15 ק"מ מהחוף). מאידך, ישנן תחנות קרובות לחוף, המשויכות לאזור ב', כגון מפרץ חיפה וקיבוץ פלמחים.

בדומה לשיוך התחנות לאזור ג', גם כאן ישנה תרומה בולטת של הטופוגרפיה המקומית, אך במקרה הנוכחי תרומה זו מסתמנת כמכשול משמעותי יותר בפני סיווג עתידי של היישובים לאזורים א' ו-ב'. באזור ג' מתבטאת הטופוגרפיה המקומית, בדרך כלל, כמבנה שטח הבולט במישוריותו או בקעירותו בתוך תוואי הררי. באזור החוף ההבדלים הטופוגרפיים אינם כה ברורים, הפרשי הטמפרטורה המרחביים קטנים יותר, תאי השטח הקרים מפוזרים ולעתים קשה להבחין בהם בבירור. במצב כזה יקשה לשייך יישוב מסוים לאחד מהאזורים האקלימיים על פי נתוני הגיאוגרפיים וסמיכותו לתחנות מסווגות, כיוון שאין אפשרות ליצור ולו הפרדה גיאוגרפית מינימלית בין האזורים. חשוב לציין, בהזדמנות זו, שנעשו מספר ניסיונות לסווג את

התחנות על פי משתנים אחרים, כגון טמפרטורת המינימום בחורף, אך אף משתנה (או שילוב משתנים) לא הצליח ליצור הפרדה גיאוגרפית שתקל על סיווג היישובים בעתיד.

הבעייתיות שהוצגה הביאה למסקנה שלא ניתן להשתמש בשיטה הקיימת של ניתוח האשכולות לצורך הפרדת האזורים א' ו-ב', ושאינן מנוס מקביעה שרירותית בסיווג התחנות. שני שיקולים מרכזיים תמכו בגישה זו:

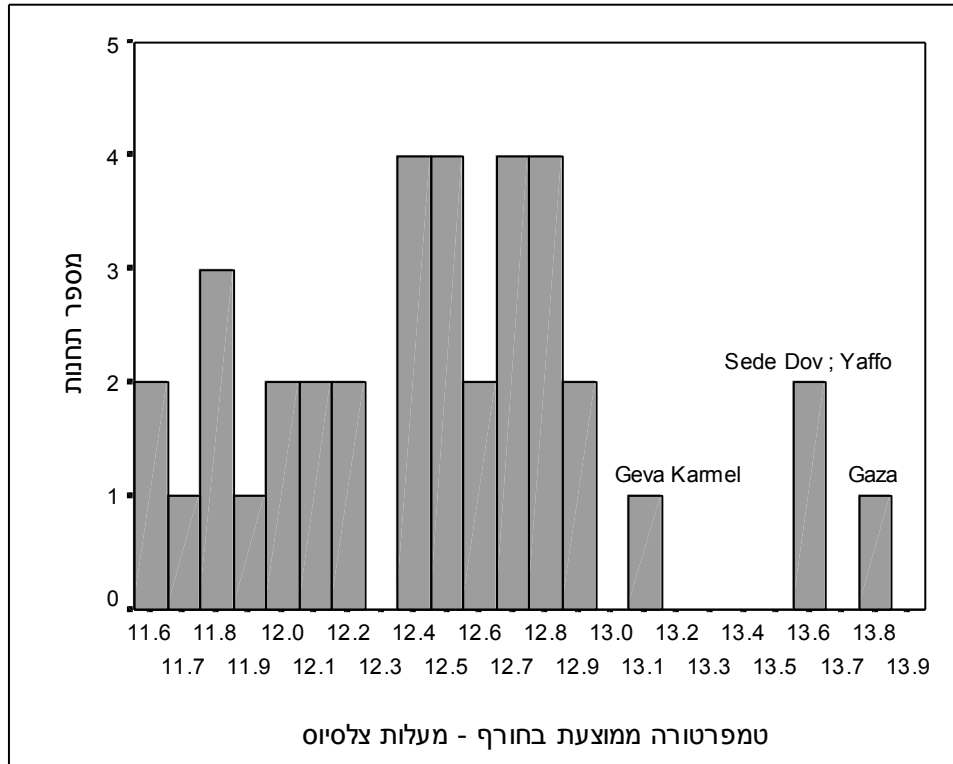
1. ידוע על הימצאות "כיסים" קרים באזורים הקרובים לחוף כדי מספר קילומטרים. הדבר מומחש, בין השאר, באטלס הקרה שהוצא על ידי המחלקה למטאורולוגיה חקלאית בשרות המטאורולוגי<sup>3</sup>. במקומות אלה ניתן בהחלט להניח שתנאי החורף דומים לתנאים באזורים פנימיים יותר, המזוהים בוודאות עם אזור ב'.

2. התבוננות בטבלה 5 מגלה שקיימת צפיפות רבה של תחנות באזור הערך הגבולי ( $12.6-12.8^{\circ}\text{C}$ ) בעוד שתחנות החוף המובהקות (שדה דב ועזה) חמות יותר באופן משמעותי. תרשים 1 ממחיש עובדה זו באופן גרפי. חשוב לזכור, שדרישות התקן עבור אזור א' נקבעו על פי נתוני העיר תל אביב, שיוצגה על ידי תחנת שדה דב. תחנה זו היא תחנה חופית מובהקת, וסביר מאד להניח, שתנאי האקלים בה אינם מייצגים את אלה השוררים ברוב המקומות, הנמצאים מספר קילומטרים מועט מזרחה.

לאור האמור לעיל, ולאחר התייעצות עם מזמיני העבודה, הוחלט להמליץ על איחוד האזורים א' ו-ב' ובעקבות איחוד זה על הצבת דרישות הבידוד של אזור ב' גם בכל היישובים שישוּכו לאזור המאוחד (המשמעות המעשית של המלצה זו היא ביטול דרישות הבידוד המופיעות כיום עבור אזור א').

ניסיון להשאיר את ההבחנה בין אזור א' ל-ב' על כנה, ולסווג יישובים על בסיס שרירותי אחר, כגון מרחק מהחוף, לא היה פותר את הבעיה של הימצאות "כיסים" קרים. בנוסף, היה פתרון כזה נתקל בקשיים גדולים ברמה המוניציפלית, לאור ריבוי היישובים לאורך קו החוף, כאשר קו הפרדה היה עובר בתוך תחום היישוב. נוסף לכך, יש לזכור שהסיווג על פי הטמפרטורה הממוצעת אינו לוקח בחשבון את בעיית סכנת העיבוי בעונת החורף. בהחלט ייתכן שיישובים, שהיו אמורים להיות מסווגים לאזור א' על פי הטמפרטורה הממוצעת בחורף, מחייבים, עקב סכנת העיבוי, מתן בידוד תרמי ברמה הנדרשת לאזור ב'. אפשרות זו קיימת בשל כמות גדולה יותר של אדי מים באזור החוף, המעלה את הסיכון לעיבוי על גבי המשטחים הפנימיים – למרות טמפרטורות חוץ גבוהות יחסית.

<sup>3</sup> לומס י., גת צ., בורסוק ז. וצ. רז, 1989: **אטלס קרה**. המחלקה למטאורולוגיה חקלאית, השרות המטאורולוגי, בית דגן.



**תרשים 1.** התפלגות תחנות אזורים א' ו-ב' לפי הטמפרטורה הממוצעת בחודשים ינואר-פברואר. מהגרף הוצאו תחנות בעלות טמפרטורה נמוכה מברר שבע. באר שבע —  $11.6^{\circ}\text{C}$ ; הגבול המקורי ב- $12.6^{\circ}\text{C}$ . הגבול לאחר התחשבות בשגיאת התקן של הפרש (ראה פירוט בטקסט) —  $12.8^{\circ}\text{C}$ . ניתן לראות באופן ברור את ההפרדה בין תחנות החוף המובהקות לשאר התחנות.

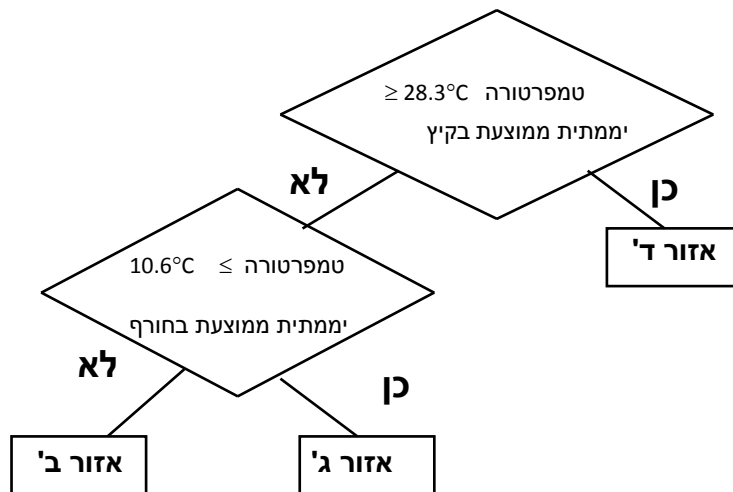
## 5. סיווג התחנות המשתתפות במחקר

סעיף זה נועד לסכם בקצרה את תהליך הסיווג שתואר עד כה (סעיפים 2.2 ו-4).

בטבלה 6 מוצגות התחנות המשתתפות במחקר וסיווגן לשלושת האזורים האקלימיים המוצעים למטרות התקן לבידוד תרמי. סיווג זה נקבע, כאמור, על פי השיקולים הבאים:

- בשלב ראשון בודדו תחנות אזור ד' משאר התחנות על פי נתוני הטמפרטורה הממוצעת בחודשים יולי-אוגוסט.
- בשלב שני בודדו תחנות אזור ג' מתחנות אזור ב' על פי נתוני הטמפרטורה הממוצעת בחודשים ינואר-פברואר.

התהליך מוצג בתרשים הזרימה הבא:



חשוב להדגיש, שערכי הסף של הטמפרטורה נקבעו על פי התקופה 1984–1994. עקב שינויים אפשריים במשטר הטמפרטורות מתקופה לתקופה, ייתכנו בהחלט הבדלים בערכי הסף בין תקופות שונות. המשמעות היא שסיווג עתידי של תחנות/יישובים עשוי לדרוש עדכון של ערכי הסף, או לחילופין, תקנון נתוני התחנה/יישוב לתקופה 1984–1994, כך שיתאפשר בסיס זהה להשוואה.

עם זאת, יש בהחלט לזכור, שהסיווג הנוכחי אינו לוקח בחשבון את כל הגורמים האפשריים המשפיעים על הדרישות לבידוד תרמי של בניינים.

אחד הגורמים שלא נכלל בניתוח הנוכחי הוא האפקט האורבני. כפי שלגבי סיווג תחנה, טופוגרפיה מקומית כלשהי עשויה להיות דומיננטית יותר מהאזור הגיאוגרפי הכללי, בו התחנה נמצאת, כך השפעה של עיר עשויה להיות משמעותית עד כדי העברת התחנה מאזור אקלימי אחד למשנהו. העיר מייצרת חום, הגורם לעליית הטמפרטורה. לעתים, ההפרש בין הטמפרטורה בתוך העיר לזו שמחוץ לה גדול מההפרש בין הטמפרטורות הממוצעות של שני אזורים אקלימיים הסמוכים זה לזה. פריסת התחנות שנתוניהן עמדו לרשותנו בעבודה זו לא אפשרה לנתח באופן כמותי את ההשפעה האורבנית. ללימוד השפעה זו יש צורך במחקר מיוחד, שיתבסס על מספר רב של מדידות מטאורולוגיות בהצבות שונות בתוך השטח העירוני.

הסיבות לצירוף אזור א' לאזור ב' תוארו בסוף הסעיף הקודם. לכאורה, התחשבות בשיקול האורבני עשויה לתמוך בסיווג שטחים עירוניים צפופים ביישובים מסוימים (כמו תל אביב, לדוגמה) לאזור א'. מאידך, הלחות המוחלטת באזור החוף גבוהה במיוחד ופועלת בכיוון של החמרה דווקא. השיקול שגרם לעורכי המחקר להמליץ על ביטול אזור א', מעבר לנימוקים שכבר הועלו, היה שאם לא ניתן לכמת את ההשפעות השונות יש לתת משקל רב יותר להשפעות המחמירות.

יש חשיבות גדולה להערכה מדויקת יותר של השפעת הגורמים הפרטניים השונים (טופוגרפיה מקומית, אפקט אורבני, תהליכי העיבוי) ולשקלולם בהחלטה על שיוך יישובים, אך הדבר דורש מחקר מעמיק נוסף ולא ניתן לביצוע במסגרת הנוכחית.

## 6. סיווג היישובים לאזורים האקלימיים

### 6.1 שיקולים והנחיות כלליות

לצורך סיווג היישובים השתמשנו ברשימת היישובים מפרסום הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה<sup>4</sup>. פרסום זה מכיל למעלה מ-1200 יישובים. לרשימה זו הוספו יישובים חדשים, שלא נכללו בפרסום. כזכור, המשתנה המפריד בין האזורים ב' ו-ג' היה הטמפרטורה הממוצעת בחורף (סף של 10.6°C) ובין האזורים ב' ו-ד' הטמפרטורה הממוצעת בקיץ (סף של 28.3°C). מובן, שברוב היישובים לא נמדדו ערכי טמפרטורה, ולפיכך נדרש היה לאמוד ערך של טמפרטורה ממוצעת, שלפיו ניתן להכריע לאיזה אזור הם שייכים.

בתהליך סיווג התחנות לאזורים האקלימיים היה סיווגן של תחנות רבות מידי וברור, כיוון שהן נמצאות עמוק בתוך האזור אשר אליו הן שייכות (רחוקות מהטמפרטורה הגבולית, מצד זה או אחר). עבור חלק מהתחנות, לעומת זאת, תהליך הסיווג היה מורכב יותר, בהיותן גבוליות במעבר מאזור אחד לשני (טמפרטורה ממוצעת בקרבת הטמפרטורה הגבולית). תמונה דומה התקבלה בעת סיווג היישובים. ההכרעה לגבי יישובים רבים הייתה מיידית, לאור הימצאותם בשטחים המשוויכים באופן ברור לאחד האזורים שהוגדרו. המידע שהתקבל מניתוח נתוני התחנות אפשר לקבוע בבירור מספר הנחיות כלליות, שהקלו על סיווג מרבית היישובים:

- א. כל היישובים הגבוהים מ-600 מטר (מדרום לירוחם מעל 700 מטר) סווגו לאזור ג'.
- ב. כל היישובים הנמוכים מ-300 מטר במדרונות הרי הגליל ובמדרונות המערביים של הרי המרכז והדרום, בכללם כל יישובי מישור החוף והשפלה, סווגו לאזור ב'.
- ג. כל היישובים בציר בקעת הירדן והערבה סווגו לאזור ד'.

ההכרעה לגבי שאר היישובים הייתה מורכבת יותר וחיבה לאמוד את הטמפרטורה הממוצעת בחורף, עבור היישובים הסמוכים לגבול שבין אזורים ב' ו-ג', ואת הטמפרטורה הממוצעת בקיץ, עבור היישובים הסמוכים לגבול שבין אזורים ב' ו-ד'. אומדן הטמפרטורות הממוצעות נעשה באמצעות משוואות רגרסיה, שפותחו על בסיס נתוני התחנות. משוואות הרגרסיה מתבססות על הקשר בין הטמפרטורות הממוצעות לבין משתנים גיאוגרפיים.

לסיווג היישובים הסמוכים לגבול שבין אזורים ב' ו-ג' פותחה משוואת רגרסיה הקושרת את הטמפרטורה היומית הממוצעת בחורף בתחנה לגורמים הבאים: גובה התחנה מעל פני הים, קואורדינטת הרוחב שלה והמבנה הטופוגרפי המקומי בו היא נמצאת. כפי שתואר בניתוח התוצאות, למבנה הטופוגרפי המקומי השפעה גדולה על הטמפרטורה אך הוא אינו ניתן לכימות מדויק. הדרך להתחשב באופן חלקי בגורם זה הייתה להשתמש במשתנה דמה (dummy). הסבר מפורט יותר לגבי אופן השימוש בו, כמו גם לגבי אופן בחירת התחנות המשמשות לחישוב, מופיע בסעיף 1 שבנספח.

המשוואה האופטימלית שהתקבלה עבור הטמפרטורה הממוצעת בחורף (ינואר-פברואר) היא:

$$TAVW = 15.856 - 3.31 \cdot 10^{-6} \cdot HEIGHT^2 - 2.38 \cdot 10^{-3} \cdot HEIGHT - 4.86 \cdot 10^{-6} \cdot YNEW - 0.851 \cdot EXPOSURE \quad (1)$$

כאשר:

<sup>4</sup> הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה: רשימת היישובים, מאפיינים גיאוגרפיים ואוכלוסייה 1948-1995. פרסומי מפקד האוכלוסין והדיר 1995, מס' 3. (בתוספת יישובים שנוספו לאחר הפרסום).

TAVW היא הטמפרטורה היומית הממוצעת בחורף (במעלות צלסיוס).

HEIGHT הוא הגובה במטרים מעל פני הים (הגובה בריבוע נוסף כמשתנה נפרד כדי לצמצם מידה של חוסר ליניאריות במשוואה).

YNEW היא קואורדינטת הרוחב לפי רשת ישראל חדשה (במטרים).

EXPOSURE הוא משתנה הדמה המקבל את הערך 1, אם המבנה הטופוגרפי המקומי מעודד קרה, או 0 אם לא.

מקדם המתאם המרובה היה  $R^2=0.96$  וסטיית התקן של הפרשים מקו הרגרסיה הייתה  $0.4^\circ\text{C}$ .

בעזרת נוסחת הרגרסיה קיבלנו את אומדן הטמפרטורה לכל יישוב ברשימה על פי גובהו וקו הרוחב שלו (ללא משתנה הדמה). אם תוצאת החישוב הייתה נמוכה מהערך הגבולי  $10.6^\circ\text{C}$ , סווג היישוב מיידית לאזור ג'. אם תוצאת החישוב הייתה בין  $10.6^\circ\text{C}$  ל- $11.5^\circ\text{C}$ , נבדק המבנה הטופוגרפי שבתוכו שוכן היישוב בכדי לברר האם יש מקום להפחית מהתוצאה את המקדם המתאים של משתנה הדמה  $0 - 9^\circ\text{C}$ .

בצורה דומה פותחה משוואת רגרסיה לסיווג היישובים הסמוכים לגבול שבין האזורים ב' ו-ד'. משוואה זו קושרת בין הטמפרטורה היומית הממוצעת בקיץ בתחנה לגובה התחנה ולמרחקה מהים. המשוואה מתבססת במקרה זה על מספר קטן יותר של תחנות מאשר במקרה החורפי. זאת, כיוון שתלות הטמפרטורה בגובה ובמרחק מהים, בעונת הקיץ, שונה במדרון המזרחי מזו שבמדרון המערבי ועל כן הוצאו מבסיס הנתונים למשוואה התחנות השוכנות במדרונות המערביים. הסבר מפורט לגבי השיקולים שהנחו בבחירת התחנות והמשתנים מובא בסעיף 2 שבנספח.

המשוואה הסופית שהתקבלה עבור הטמפרטורה היומית הממוצעת בקיץ (יולי-אוגוסט) היא:

$$TAVS = 27.448 - 6.63 \cdot 10^{-3} \cdot HEIGHT + 2.31 \cdot 10^{-2} \cdot DISTANCE \quad (2)$$

כאשר:

TAVS היא הטמפרטורה היומית הממוצעת בקיץ (במעלות צלסיוס).

HEIGHT הוא הגובה במטרים מעל פני הים.

DISTANCE הוא המרחק בקילומטרים מחופי הים התיכון.

מקדם המתאם המרובה היה  $R^2=0.95$  וסטיית התקן של הפרשים מקו הרגרסיה הייתה  $0.6^\circ\text{C}$ .

בעזרת נוסחת הרגרסיה קיבלנו את אומדן הטמפרטורה הממוצעת בקיץ לכל יישוב ברשימה על פי גובהו ומרחקו מהים התיכון. אם תוצאת החישוב הייתה גבוהה מהערך הגבולי  $28.3^\circ\text{C}$  מעלות, סווג היישוב לאזור ד'. אם תוצאת החישוב הייתה נמוכה יותר סווג היישוב לאזור ב'.

ברור מאופי החישוב ומסטיית התקן של הפרשים מקו הרגרסיה (בשני המקרים – גם החורפי וגם הקיצי) שקיימת אי וודאות מסוימת באומדן. לאור זאת ניתנה שימת לב מיוחדת ליישובים שבהם התקבלו ערכים הקרובים מאד לגבול. במקרים בודדים התקבלה החלטה פרטנית שאינה תואמת את תוצאת משוואת הרגרסיה, וזאת משיקולים שיפורטו בחלקם בסעיף 6.2 להלן. עם זאת, ככלל, היוו תוצאות משוואות הרגרסיה את הבסיס להחלטה שהתקבלה.

## 6.2 סיווג היישובים

טבלה 7 מפרטת את כל היישובים במדינת ישראל (לפי סדר אלפביתי) ואת סיווגם לאזורים ב', ג' ו-ד'. מפה 2 מציגה את הפריסה הגיאוגרפית של היישובים ואת שיוכם לשלושת האזורים. טבלה 8 מפרטת את היישובים

השייכים לאזור ד'. טבלה 9 מפרטת את היישובים השייכים לאזור ג' וטבלה 10 מפרטת את יישובי אזור ב'. גם בטבלאות 8-10 המיון הפנימי הוא אלפביתי.

בכל הטבלאות ציון מקומו של היישוב נעשה על פי רשת הקואורדינטות של ארץ ישראל, כפי שסומן במפות שהוצאו על ידי המרכז למיפוי ישראל.

בשדה "נקודת ציון" מצוין כל יישוב על ידי שמונה ספרות: ארבע הספרות הראשונות מציינות את המרחק מזרחה במאות מטרים מצירי הרשת (קואורדינטת האורך) וארבע הספרות האחרונות – את המרחק צפונה במאות מטרים מצירי הרשת (קואורדינטת הרוחב).

בערים וביישובים עירוניים נקודת הציון מתייחסת למקום המבנה של העירייה או המועצה המקומית. ביישובים הכפריים – למקום הריכוז העיקרי של האוכלוסייה ביישוב. בשבטי הבדווים – למקום הריכוז העיקרי של השבט.

בשדה "גובה" מצוין הגובה הממוצע של היישוב (במטרים, מעל פני הים התיכון).

ביישובים הכפריים, ציון הגובה מתייחס למיקום הריכוז העיקרי של האוכלוסייה ביישוב.

בערים וביישובים העירוניים ציון הגובה מעל פני הים נקבע לפי הכללים הבאים:

א. אם הפרשי הגבהים של השטח הבנוי ביישוב נמצאו בתוך מפלס גובה אחד<sup>5</sup> – ניתן ציון גובה אחד בלבד, המתייחס לגובה הממוצע בריכוז העיקרי של השטח הבנוי.

ב. אם הפרשי הגבהים של השטח הבנוי ביישוב משתרעים על פני יותר ממפלס גובה אחד – ציונו שני מספרים, המציינים את גובה המינימום והמקסימום של השטח הבנוי.

הגבהים נרשמו במטרים, במספרים מעוגלים ל-0 או ל-5 מטרים.

(הערה: התיאור וההסבר לגבי נקודת הציון והגובה נלקחו ככתבם וכלשונם מתוך פרסום הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, למעט שינויים קלים בלבד המתחייבים מההתייחסות לטבלאות).

בשדה "קו אורך" מצוינת קואורדינטת האורך של היישוב לפי רשת ישראל החדשה (במטרים). בשדה "קו רוחב" מצוינת קואורדינטת הרוחב של היישוב לפי רשת ישראל החדשה (במטרים).

בשדה "אזור" מצוין האזור האקלימי, אשר אליו סווג היישוב למטרות התקן לבידוד תרמי.

הסיווג נקבע על פי הכללים המפורטים בסעיף 6.1, במספר הסתייגויות:

1. בתהליך הסיווג נעשה מאמץ להימנע מחלוקת יישובים למספר אזורים, אף אם היו בהם הפרשי גבהים שלכאורה הצדיקו זאת. ביישובים שעל פי תוצאות החישובים היו גבוליים נקבע הסיווג לפי האזור, אשר אליו שייך רוב שטחו של היישוב. בשלושה יישובים נראה, שמומלצת חלוקה לשני אזורים אקלימיים לנוכח גודל היישובים והפרשי הגבהים בתוכם: (1) נצרת (מוגדר להלן גבול בין ב' ל-ג'), (2) נצרת עילית (מוגדר להלן גבול בין ב' ל-ג'), (3) טבריה וטבריה עילית (מוגדר להלן גבול בין ד' ל-ב'). בנצרת ובנצרת עילית קו הגובה המפריד בין אזור ב' לאזור ג' (על פי משוואת הרגרסיה) הוא 430 מטר. בטבריה קו הגובה המפריד בין אזור ד' לאזור ב' הוא 30 מטר.

2. בהחלטה לגבי יישובים מסוימים, ניתן משקל לשמירה על רציפות גיאוגרפית מינימלית ולמניעת פיצולים, שיישומם מסובך. כך, לדוגמה, נכללו כל יישובי דרום רמת הגולן באזור ג'. זאת, למרות שמספר יישובים,

<sup>5</sup> קבוצת גובה של 100 מטרים מתחת לפני הים התיכון או מעליו.

הסמוכים למורדות הכנרת, אינם במבנה טופוגרפי זהה לזה של אבני איתן (שנתוניה היוו בסיס להחלטה), וניתן היה לשייכם לאזור ב'.

3. במקומות שבהם או בקרבתם הייתה תחנת מדידה, והערך המדוד היה שונה מהערך שחושב על פי משוואת הרגרסיה, נלקח בחשבון הערך המדוד.

### 6.3 הנחיות לסיווג יישובים חדשים

לסיווג יישובים חדשים יש לנהוג על פי ההנחיות הבאות (הסיווג יעשה על פי סדר הסעיפים בטבלה):

מס'	תיאור	אזור
1	כל יישוב במישור החוף והשפלה, שגובהו עד 300 מטר מעל פני הים	ב
2	כל יישוב הגבוה מ-600 מטר מעל פני הים (מדרום לירוחם מעל 700 מטר)	ג
3	כל יישוב הנמוך ממפלס פני הים	ד
4	כל יישוב בין 0 ל-600 מטר מעל פני הים, שאינו נכלל ב-(1), ו- $TAVS \geq 28.3^\circ C$ (לפי משוואה 2 לנתוני הקיץ)	ד
5	כל יישוב בין 0 ל-300 מטר מעל פני הים שאינו נכלל ב-(1) וב-(4)	ב
6	כל יישוב בין 300 ל-600 מטר מעל פני הים שאינו נכלל ב-(4) ו- $TAW \leq 10.6^\circ C$ (לפי משוואה 1 לנתוני החורף - <u>ללא</u> משתנה ה-EXPOSURE)	ג
7	כל יישוב בין 300 ל-600 מטר מעל פני הים שאינו נכלל ב-(4) ו- $11.5^\circ C \geq TAW > 10.6^\circ C$ (לפי משוואה 1 לנתוני החורף - <u>ללא</u> משתנה ה-EXPOSURE) אזי:	
	א. אם נמצא בשטח המעודד הווצרות קרה	ג
	ב. אם נמצא בשטח שאינו מעודד הווצרות קרה	ב
8	כל יישוב בין 300 ל-600 מטר מעל פני הים שאינו נכלל ב-(4) ו- $TAW > 11.5^\circ C$ (לפי משוואה 1 לנתוני החורף - <u>ללא</u> משתנה ה-EXPOSURE)	ב

בכל מקרה של התלבטות בעת סיווג יישובים חדשים, במיוחד לגבי השפעות של מבנים טופוגרפיים המעודדים קרה בחורף, יש לפנות לשירות המטאורולוגי להתייעצות. במצבים מסוימים עשויה להינתן המלצה לביצוע מדידות באתר המבוקש לפרק זמן קצוב כדי לאפשר השוואה עם נתונים קיימים בתחנה מטאורולוגית סמוכה.



## 7. סיכום

מטרת העבודה הנוכחית הייתה להגדיר קריטריונים להפרדה בין אזורים אקלימיים עבור התקן הישראלי לבידוד תרמי (ת"י 1045), ולחלק את היישובים השונים במדינת ישראל לאזורים הללו לפי אותם קריטריונים. בסיס הנתונים למחקר היה 91 תחנות מטאורולוגיות אמינות והומוגניות בפריסה ארצית.

הגישה שנבחרה התבססה על שילוב שתי שיטות לניתוח אשכולות (cluster analysis): שיטת ה-K-means (תוך שימוש במרכזים קבועים) והשיטה ההיררכית. בניתוח הראשוני נלקחו כמרכזים נתוני התחנות המייצגות את ארבעת האזורים הקיימים בתקן הנוכחי (ת"י 1045) – תל אביב, באר שבע, ירושלים ויריחו (המחליפה את אילת כמייצגת את אזור ד'). סיווג התחנות לאזורים השונים בוצע בשלבים, בשיטה ההיררכית, באמצעות עצי החלטה (tree clustering), כאשר הקריטריונים להפרדה בין האזורים היו הטמפרטורות הממוצעות בקיץ ובחורף. בכל שלב בתהליך נעשה שימוש בשני מרכזים. בשלב ראשון הופרדו תחנות אזור ד' על פי הטמפרטורה הממוצעת בעונת הקיץ, כאשר שני המרכזים היו באר שבע ויריחו. לאחר מכן, הופרדו תחנות אזור ג' על פי הטמפרטורה הממוצעת בחורף (המרכזים – באר שבע וירושלים). בשלב האחרון אמורה הייתה להתבצע ההפרדה בין תחנות אזור ב' לתחנות אזור א' – פעם על בסיס טמפרטורת המקסימום בקיץ ופעם לפי הטמפרטורה הממוצעת בעונת החורף (המרכזים – באר שבע ותל אביב). בכל שלב בוצע הסיווג לפי מרחק התחנה (במעלות צלזיוס) מכל אחד מהמרכזים, תוך התחשבות בשגיאת התקן של ממוצע ההפרש בין התחנה למרכז – המחייב דרישות בידוד חמורות יותר. באופן זה שויכו מספר תחנות למרכז המחמיר, למרות שעל פי ההליך הפשטני היו אמורות להשתייך למרכז האחר.

תוצאות תהליך סיווג התחנות הראו שלטופוגרפיה המקומית של התחנה יש תרומה משמעותית מאוד לטמפרטורה הממוצעת שלה, וכנובע מכך – גם לשיוכה לאחד האזורים. תופעה זו באה לידי ביטוי בעיקר בהפרדה (בעונת החורף) בין תחנות אזור ג' לתחנות אזור ב', ובין תחנות אזור ב' לתחנות אזור א'. באזור ג' עשוי שטח הבולט במישוריות או בקעירותו בתוך תוואי הררי לגרום לטמפרטורה הנמוכה מטמפרטורת הסביבה, בשל התקררות גדולה יותר בשעות הלילה. ואכן, סיווג היישובים נקבע תוך התחשבות בתוואי השטח. עם זאת, בעוד שבאזור ההררי תוואי השטח בולטים ובני-אבחנה, הרי שבאזור החוף ההבדלים הטופוגרפיים אינם כה ברורים, ולא ניתן להגדיר קריטריונים חד משמעיים כדי לחזות באמצעותם את ההפרשים המרחביים בטמפרטורה. הדבר הביאנו למסקנה, שהפרדה גיאוגרפית בין האזורים א' וב' בשיטת ניתוח האשכולות אינה אפשרית, ושאינן מנוס מהכרעה שרירותית. אולם, גם הפרדה שרירותית בין אזור א' לאזור ב' נתקלה בקשיים רבים, כיוון שמרכזים עירוניים גדולים במישור החוף משתרעים על פני שטח נרחב מקו החוף מזרחה; הפרדה בין האזורים הייתה מחלקת בהכרח מרכזי אוכלוסין בין שני אזורי בידוד תרמי, ומערימה קשיים מעשיים רבים. לקשיים אלו מצטרף היבט נוסף, והוא שהשיטה המוצעת אינה לוקחת בחשבון את הסיכון לעיבוי בעונת החורף. בהחלט ייתכן, שמקומות, שהיו אמורים להיות מסווגים לאזור א' על פי קריטריון הטמפרטורה, מועדים יותר לסכנת העיבוי מאשר מקומות המסווגים לאזור ב'. אפשרות זו קיימת בשל כמות גדולה יותר של אדי מים באזור החוף, המגדילה את הסיכון לעיבוי על גבי המשטחים הפנימיים – למרות טמפרטורות חוף גבוהות יחסית.

בשל בעיות אלה, ולאור העובדה שרק מספר קטן ביותר של תחנות, על קו החוף ממש (שדה דב, יפו ועזה), נמצאו שייכות באופן מובהק לאזור א', בעוד שלגבי יתר התחנות באזור החוף ההבחנה בין אזור א' לב' הייתה קשה (על פי קריטריוני הטמפרטורה), הוחלט שהפתרון הנכון במקרה זה הוא לבטל את אזור א' ולאחד אותו עם אזור ב'. לפיכך, החלוקה הסופית המוצעת לצורך בידוד תרמי היא לשלושה אזורים.

לאחר סיווג התחנות סווגו כל היישובים שברשימות הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה לאחד משלושת האזורים שהוגדרו (ב', ג' או ד'). על פי המידע שהתקבל מניתוח נתוני התחנות נקבעו מספר הנחיות כלליות, המתבססות על הגדרות גיאוגרפיות, שהקלו על סיווג מרבית היישובים. עם זאת, עבור חלק מהיישובים תהליך הסיווג היה מורכב יותר בשל סמיכותם לאחד מהגבולות המפרידים בין האזורים (גבול בין אזור ב' ו-

לאזור ג' או גבול בין אזור ב' לאזור ד'). סיווג יישובים אלה לאחד משלושת האזורים התבסס על אומדן נתונים האקלימיים (טמפרטורה ממוצעת בחורף עבור הפרדה בין ב' ל- ג', וטמפרטורה ממוצעת בקיץ עבור הפרדה בין ב' ל- ד') באמצעות משוואות רגרסיה הלוקחות בחשבון את נתונים הגיאוגרפיים. המשוואות פותחו על בסיס נתוני תחנות המדידה ששימשו למחקר. המשתנים הגיאוגרפיים בהם נעשה שימוש לאמידת הטמפרטורה הממוצעת בחורף היו הגובה מעל פני הים, קואורדינטת הרוחב (ההשתנות בציר צפון-דרום) והמבנה הטופוגרפי המקומי. השפעת המבנה הטופוגרפי המקומי כומתה, באופן ממוצע, באמצעות משתנה דמה (dummy) שקיבל ערך של 1, עבור תחנות שהצבתן הייתה מעודדת קרה, או 0 עבור שאר התחנות. במשוואת הרגרסיה שפותחה עבור הטמפרטורה הממוצעת בקיץ נעשה שימוש בגובה מעל פני הים ובמרחק מהחוף. בשתי המשוואות התקבל קשר הדוק בין המשתנים הגיאוגרפיים לטמפרטורה ומקדמי מתאם גבוהים. מהאומדן לטמפרטורה הממוצעת בחורף (שנעשה על בסיס גובה היישוב וקואורדינטת הרוחב שלו) הופחת הערך הממוצע של השפעת המבנה הטופוגרפי המקומי, באותם יישובים הנמצאים באזורים מעודדי קרה. בתהליך הסיווג ניתן, בדרך כלל, משקל לשמירה על רצף גיאוגרפי מינימלי ונעשה ניסיון להימנע מפיצול או מחלוקת יישובים, שעלולים להיות קשים ליישום. רק בשלושה יישובים, בהם ישנם הפרשי גובה בולטים – טבריה, נצרת ונצרת עילית – הומלץ על חלוקת היישוב לשני אזורים בהתאם לגובה.

הכלי שפותח מאפשר בעתיד סיווג של יישובים חדשים ללא צורך לפנות לשירות המטאורולוגי (למשל ע"י משרד מהנדס העיר או הרשות המקומית). יחד עם זאת, בכל מקרה של התלבטות בעת סיווג יישובים חדשים, במיוחד לגבי השפעות של מבנים טופוגרפיים המעודדים קרה בחורף, יש לפנות לשירות המטאורולוגי להתייעצות. במצבים מסוימים עשויה להינתן המלצה לביצוע מדידות באתר המבוקש לפרק זמן קצוב כדי לאפשר השוואה עם נתונים קיימים בתחנה מטאורולוגית סמוכה.

הסיווג הנוכחי אינו לוקח בחשבון את כל הגורמים האפשריים המשפיעים על הדרישות לבידוד תרמי של בניינים. בתהליך ההפרדה שבוצע אין התייחסות מפורשת לסכנת העיבוי, וגם האפקט האורבני לא בא כן לידי ביטוי. להשפעות אלו תיתכן השלכה משמעותית על קביעת האזור האקלימי של יישוב. יש חשיבות גדולה, לדעתנו, לנסות לכמת השפעות אלו, כדי לשקללן בהחלטה הסופית על סיווג היישובים. המבנה הטופוגרפי המקומי נלקח בחשבון בניתוח הנוכחי, אך יש צורך לנסות לבטא באופן כמותי מדויק השפעות שונות של מבנים טופוגרפיים שונים. כל אלה דורשים מאמץ מחקרי ארוך טווח.

## **הבעת תודה**

ברצוננו להודות לכל מי שעזר לנו בביצוע העבודה. לאורי לב עמי על עצותיו המקצועיות והמועילות ועזרתו בתהליך סיווג היישובים; ללורה ברגינסקי על העזרה הרבה בהכנת בסיס הנתונים, בבדיקות ההומוגניות ותקנון הנתונים באמצעות רגרסיה; לאפרת אברמוביץ, מירה בן שלום, זהבה כהן ואולגה ליפוביץקי על הבקרה היסודית של הנתונים; לעמוס פורת על בדיקות ההומוגניות והעזרה בהכנת בסיס הנתונים; לישראל שפירא על עזרה בתכנות בשלבים השונים של העבודה ולז'נה יוז'יק על ההקלדה.