

חזה פרץ

החוג לאפידמיולוגיה, הפקולטה
לרפואה, אוניברסיטת תל-אביב

אניבלה ביג'רי

המחלקה לסטטיסטיקה "G."
Parenti", אוניברסיטת פירנצה,
איטליה

פנחס אלפרט

המחלקה לגאופיזיקה ומדעים
פלנטריים, הפקולטה למדעים
מדויקים, אוניברסיטת תל-אביב

יורם אפשטיין

מכון הלר, המרכז הרפואי ע"ש שיבא
והפקולטה לרפואה, אוניברסיטת
תל-אביב

מיקלה בציני

המחלקה לסטטיסטיקה "G."
Parenti", אוניברסיטת פירנצה,
איטליה



פסל סביבתי של מאוורר ישראלי מדגם 'סטאר', שהיה נפוץ בישראל עד שנות ה-90. את המאוורר, המתנשא לגובה של 6 מטר, יצרה טל טנא-צ'צ'קס, והוא הופעל וצוין את העוברים והשבים בכיכר רבין ביולי-אוגוסט 2012 | צילום: מוטי פנחסי – [הפן האישי](#)

ההשפעה של עקת חום על התמותה היומית בתל-אביב

חזית המחקר

גיליון חורף 2013 / כרך 4(4)

1 בדצמבר, 2013

ציטוט מומלץ

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

פרץ ח, ביג'רי א, אלפרט פ ואחרים.
2013. ההשפעה של עקת חום על
התמותה היומית בתל-אביב.
אקולוגיה וסביבה 4(4): 298–304.

על קצה המזלג

- המחקר בדק את הקשר בין עקת חום וזיהום אוויר לבין עלייה בתמותה.
- עקת חום חמורה (מעבר לסף של 29.3 יחידות מדידה) מעלה את התמותה בתל-אביב בכ-4% לכל יחידה. חנקן דו-חמצני, המשמש מדד לזיהום אוויר, גורם עלייה נוספת בתמותה – כ-2.5% לכל תוספת של 10 חלקיקים למיליארד.
- שינוי האקלים עשוי לגרום עלייה בתמותה, מאחר שבעקבותיו צפויים לעלות מספר הימים בשנה ששוררת בהם עקת חום חמורה וכן עוצמת העקה.
- קיים צורך במדיניות לאומית שתקטין את התמותה הקשורה לעקת חום, ושתיסייע גם במקרה של שינוי אקלים.
- יש לבצע מחקרים דומים בערים נוספות בארץ ולקבוע ערכי סף לאזורים בעלי אופי אקלימי שונה.

המערכת

תקציר

תמותה ותחלואה הקשורות במזג האוויר מעוררות עניין בהקשר של שינוי האקלים העולמי. ההשפעות קצרות הטווח של טמפרטורה על התמותה נחקרו בכמה מקומות בעולם, בעיקר באירופה, בארה"ב ובאוסטרליה, ונמצאה תבנית עונתית עם תמותה מוגברת בטמפרטורות קרות וחמות, אך עם שוני בערכי הסף. בישראל הנושא עדיין לא נחקר בצורה יסודית. מטרת מחקר זה הייתה, אפוא, להעריך את עקומת הקשר בין עקת החום והתמותה היומית בתל-אביב, תוך אמידת נקודת הסף (הנקודה שהשפעת עקת החום משתנה בה). נתונים יומיים של חמש שנים, 2000-2004, נאספו מאזור תל-אביב, במערך של סדרות עתיות; נתונים על מספר הפטירות התקבלו ממשד הבריאות, ומשתני אקלים וזיהום אוויר התקבלו מתחנות ניטור של המשרד להגנת הסביבה. נעשה שימוש במודל של רגרסיה פואסונית לבחינת עקומת הקשר בין עקת החום שבטא במדד אי-נוחות, לבין מספר הפטירות ביום, בתקנון לגורמים נוספים (יום בשבוע, חודש בשנה וזיהום האוויר) בגישה בייזאנית. במחקר נמצא קשר בין מדד אי-הנוחות (ביום הפטירה ועד שלושה ימים לפניו) ושיעורי התמותה (בערך לוגריתמי log) בתל-אביב. העקומה שנמצאה היא בצורת J ("מקל הוקי"), עם נקודת סף של 29.3 (רווח בר-סמך בייזאני $-28.3=90\%$ –30.7). כלומר, נמצא סיכון לינארי מוגבר למוות מחשיפה לעקת חום שהיא מעבר לסף. ספציפית נמצא כי עלייה ביחידה אחת במדד אי-הנוחות מעל הסף מגבירה את הסיכון למוות ב-3.7% (רווח בר-סמך בייזאני של $-0.2=90\%$ –8.7). כמו כן, נמצא כי לחנקן דו-חמצני, כמדד לזיהום אוויר, יש השפעה מובהקת על התמותה; עלייה ב-10 חלקיקים למיליארד (ppb) ברמת החשיפה נמצאה כמגבירה את הסיכון למוות ב-2.5% (רווח בר-סמך בייזאני של $-0.4=90\%$ –4.5). מסקנתנו היא שמאחר שכל האוכלוסייה חשופה לסיכונים מזג האוויר, יש צורך חיוני במדיניות מקומית שתביא לירידה במספר מקרי המוות שקשורים לעקת חום, בפרט עם העלייה הצפויה בתדירותם של הימים שתשרור בהם עקת חום גבוהה בשל ההתחממות האזורית.

מבוא

נמותה ותחלואה הקשורות למזג האוויר מעוררות עניין בעקבות שינוי האקלים העולמי. לאחרונה נחקרו באירופה^[9,2,1], באוסטרליה^[8], בארה"ב^[13,4], במזרח אסיה^[5] ובמקומות אחרים^[10] ההשפעות קצרות הטווח של טמפרטורה על התמותה, ונמצאה תבנית עונתית עם תמותה מוגברת בטמפרטורות קרות וחמות (עקומות בצורת V או J – "מקל הוקי").

במחקר שבוצע באירופה, בכמה מרכזים בוזמנית ותוך שימוש באותן שיטות מחקר (מחקר רב-מרכזי) כחלק ממיזם (PHEWE) (Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe), נמצאה תבנית כמצוין לעיל. כמו כן, נמצא שיש הבדל בערך של סף הטמפרטורה המדומה ($AT = \text{Apparent Temperature}$), הנקודה שהחל בה השפעת החום על התמותה משתנה) בין ערים אירופיות שהן ים תיכוניות, לבין ערים צפוניות יותר באירופה^[2]. ההבדל בערכי הסף קשור כנראה לכך שהאוכלוסיות מסתגלות לאקלים המקומי מבחינה פיזיולוגית, תרבותית והתנהגותית.

הקשר בין אקלים לתמותה יומית (במהלך 24 שעות) לא נחקר במערב אסיה בערים בדרום-מזרח הים התיכון, פרט למחקר שנערך בביירות בשנים 1997–1999^[6]. בפרט, לא נערך מחקר בתל-אביב, שהאקלים השורר בה בקיץ הוא חם עד חם מאוד ולח, ובחורף קריר ורטוב. בהשוואה לערים אירופיות ים תיכוניות, יש בתל-אביב הרבה יותר ימים חמים מאוד במהלך השנה, וכן סופות אבק, המגיעות ממדבר סהרה, בעיקר באביב.

זוהי אוויר הם משתנים מתערבים פוטנציאליים לקשר בין טמפרטורה לתמותה^[4]. המקור העיקרי לזיהום אוויר בתל-אביב הוא עומס תחבורה כבד, ובמידה פחותה יותר תורמים לו גם תחנת הכוח ואזורי התעשייה.

בישראל משתמשים במדד אי-הנוחות ($DI = \text{Discomfort Index}$) כמדד לנוחות התרמית של האדם^[7]. המדד משלב שני משתנים סביבתיים – טמפרטורה ולחות יחסית, בדומה למדד הטמפרטורה המדומה, השכיח במחקרים הנוגעים להשפעות קצרות טווח של אקלים על הבריאות^[3].

מאחר שתל-אביב שונה מערים ים תיכוניות באירופה באקלים, בתרבות וגם בהתנהגות של תושביה, מטרת מחקר זה הייתה להעריך את עקומת הקשר (מסוג V/J) בין עקת חום ותמותה יומית בתל-אביב. זאת, תוך אמידת נקודת הסף של עקת החום.

שיטות מחקר

מאזור תל-אביב נאספו נתונים יומיים לגבי חמש שנים, לתקופה 1.1.2000–31.12.2004, במערך של סדרות עתיות^[13].
הנתונים שנאספו היו מהסוגים הבאים:

נתוני בריאות

נתוני תמותה יומית התקבלו ממשרד הבריאות, והתייחסו לתושבי העיר. בהתחשב בממצאים של מחקרים קודמים ושל סבירות ביולוגית של השפעות אקלים על הבריאות^[11], נבחרו סיבות המוות הבאות, לכל הגילים ולקבוצות גיל ספציפיות (0, 1–14, 15–44, 45–64, 65–74, +75) שמקודדות במשרד הבריאות לפי הסיווג הבין-לאומי של מחלות (ICD-9, International Classification of Diseases): מחלות לב, מחלות כלי דם ומחלות נשימה.

נתונים מטאורולוגיים

הנתונים לכל תקופת המחקר התקבלו מהמשרד להגנת הסביבה, מתחנות ניטור שממוקמות בעיר. במחקר זה התמקדנו בטמפרטורת האוויר ובלחות היחסית שנמדדו מדי חצי שעה. לכל משתנה חושב ממוצע יומי על פי נתוני כל התחנות. בקרת איכות הנתונים כללה תיאור סטטיסטי של התפלגות המשתנים, גילוי טעויות אפשריות, בחינת ערכים קיצוניים והומוגניות, וכן תיקון ערכים שגויים במידת האפשר.

הערכת חשיפה^[7]

התמקדנו בהשפעה של מדד אי-הנוחות על התמותה. השתמשנו במדד אי-הנוחות לגבי כל ימי השנה (ולא רק לעונה החמה), והוא שונה בשתי יחידות מהמדד DI, ולכן מסומן בכוכבית (DI*). מדד אי-הנוחות DI* משלב טמפרטורה (Temp) ולחות יחסית (RH), מאחר שמדובר בשני גורמים שניתן לחברם או להכפילים:

$$DI^* = -0.394479 + 0.784533 \times \text{Temp} + 0.022226 \times \text{RH} + 0.0023765 \times \text{Temp} \times \text{RH}$$

מדד זה מתבסס על המדד הישראלי DI המקובל למעלה מחמישים שנה, ויש לו מתאם טוב עם מדד הטמפרטורה האפקטיבית ועם מדד עקת החום המכונה מדד טמפרטורת התרמומטר הרטוב (WBGT – Wet-Bulb Globe Temperature), שפותח בחיל הים האמריקאי כחלק ממחקר בנושא פגיעות שקשורות לחום במהלך אימוני צבא. מנקודת מבט ביולוגית-מטאורולוגית, מדד זה הגיוני יותר מאשר תיאור נפרד של טמפרטורה ושל לחות. החלוקה השכיחה של מדד אי-הנוחות DI לקטגוריות, בהתבסס על מחקרים שנערכו על אוכלוסיות מתנאי אקלים שונים וממוצא אתני שונה, היא כדלקמן: פחות מ-22 (ללא עקת חום), 22–23.9 (עקה מתונה), 14–27.9 (עקה בינונית-גבוהה), יותר מ-28 (עקת חום חמורה). צה"ל אימץ את החלוקה הזו בעת מתן הנחיות לאימונים בתנאי חום.

ערכים יומיים של מדד אי-הנוחות DI* חושבו על בסיס ערכים יומיים ממוצעים של טמפרטורה (במעלות צלזיוס) ושל לחות יחסית.

נתוני זיהום אוויר

מדידות חצי-שעיתיות של המזהמים הבאים נאספו משש תחנות ניטור בתל-אביב, שהן חלק מרשת ניטור איכות האוויר של המשרד להגנת הסביבה: פחמן חד-חמצני – CO (מקסימום ממוצע נע של 8 שעות); אוזון – O₃ (מקסימום יומי, מקסימום ממוצע נע של 8 שעות); חנקן דו-חמצני – NO₂ (מקסימום יומי, ממוצע יומי); גפרית דו-חמצנית – SO₂ (ממוצע יומי); חומר חלקיקי מרחף – TSP או עשן שחור (ממוצע יומי); חלקיקים נשימים שקוטרם קטן מ-10 מיקרון (חומר חלקיקי גס) – PM₁₀ (ממוצע יומי); חלקיקים נשימים שקוטרם קטן מ-2.5 מיקרון (חומר חלקיקי עדין) – PM_{2.5} (ממוצע יומי). בחירת תחנות הניטור נערכה על סמך קריטריונים מקומיים, בעיקר של שלמות המדידות וייצוג החשיפה של האוכלוסייה. נתונים חסרים הושלמו בעזרת הליך של תקנון^[12]. מאחר שתחנות שונות נבדלו בסוגי המזהמים שנוטרו בהן, הערכנו לכל מזהם ערך ממוצע מרבי או ממוצע יומי של כל הנתונים הזמינים.

השתמשנו בערך השעתי המרבי של חנקן דו-חמצני (NO₂) כסמן לרמת זיהום האוויר היומית הכוללת לעיר כולה.

תל-אביב – מאפיינים כלליים

שטח העיר כ-50.5 קמ"ר, והאוכלוסייה גדלה בשנים 2001–2004 מ-358,800 תושבים ל-371,400 תושבים. בכ-80% מהבתים יש מזגנים. בעונות הקיץ נפטרו בממוצע 8.8 תושבים מדי יום, ובעונות החורף נפטרו בממוצע 10.3 מדי יום.

מודל סטטיסטי

הניתוח הסטטיסטי מתבסס על מודל רגרסיה פואסונית לבחינת עקומת הקשר בין עקת חום לבין מספר הפטירות ביום, בתקנון לגורמים נוספים (יום בשבוע, חודש בשנה וזיהום האוויר) בגישה בייזיאנית^[2]. במודל נכללו משתני דמה ליום בשבוע ולחודש קלנדרי, ורכיב לינארי לרמה המרבית היומית של החנקן הדו-חמצני ביום הפטירה וביום שלפניו ($0-1$ lag). הקשר שבין מדד אי-הנוחות DI^* ביום הפטירה ובשלושת הימים הקודמים ליום זה ($0-3$ lag) לבין התמותה, נבנה באמצעות הכנסת שני רכיבים לינאריים למודל, שנפגשים בנקודת הסף. המודל נבנה בתכנה הסטטיסטית R. המודל למספר הפטירות ביום (y) מפורט בנספח 1.

התייחסנו אל הסף – ערך מדד אי-הנוחות (מופיע בנוסחה כ- T_1) שהחל בו יימצא שינוי בהשפעה על התמותה – כאל משתנה לא ידוע שיש לאמוד אותו. זאת, מהתפלגות אפרורית נורמלית שמרכזת בערך 24, והשונות שלה גבוהה. לכל מקדמי הרגרסיה האחרים הנחנו התפלגויות אפרוריות לא-אינפורמטיביות. ההתפלגות הפוסטריורית המשותפת לפרמטרים של המודל הושגה בעזרת שימוש בשיטות של MCMC, בתכנה WinBugs 14. ממוצע פוסטריורי ורווח בר-סמך בייזיאני של 90% מוצגים לאומדנים הרלוונטיים.



מפלט מהחום – 'חוף מציצים', קיץ 2012 / צילום: אודי שטיינול ©

תוצאות

טבלה 1 מציגה מדדי סיכום של הנתונים המטאורולוגיים במהלך הקיץ בתל-אביב (בחודשים אפריל עד ספטמבר) בהשוואה לערים ים תיכוניות אירופיות^[1]. בתל-אביב היה ממוצע הטמפרטורה המדומה הגבוה מבין הערים, וכך גם הלחות היחסית.

טבלה 1. נתונים מטאורולוגיים בתל-אביב ובערים ים תיכוניות אירופיות במהלך הקיץ (בחודשים אפריל-ספטמבר) עבור כל אחד מהמשתנים המטאורולוגיים מוצגים הממוצע והטווח מינימום-מקסימום

העיר	תקופת המחקר	משתנים מטאורולוגיים		
		טמפרטורה מדומה (AT)*	טמפרטורה**	לחות יחסית
תל-אביב	2004-2001	32.4 45.3-14.0	25.5 33.8-13.9	71 90-22
ולנסיה	2000-1995	29.5 44.9-10.6	22.3 30-10.5	66 92-32
אתונה	1996-1992	27.9 41.6-7.9	23.5 34.3-7.6	57 89-23
רומא	2000-1992	26.1 40.5-5.9	20.5 30.3-6.1	72 94-25
מילנו	2000-1990	25.4 40.8-2.7	20.0 29.4-2.5	72 100-26
טורינו	1999-1991	23.4 45.8-4.2	18.5 27.9-3.0	74 97-32
ברצלונה	2000-1992	23.3 36.9-6.5	21.7 34.2-8.6	66 99-29
ליובליאנה	1999-1992	20.1 35.4-(-1.7)	15.9 26.5-0.6	75 98-33

* טמפרטורה מדומה במעלות צלזיוס, $AT = -2.653 + 0.994 \times Temp + 0.0153 \times (Dew)^2$
 ** בתל-אביב ממוצע יומי של טמפרטורה מדומה, בערים האחרות טמפרטורה מדומה מרבית

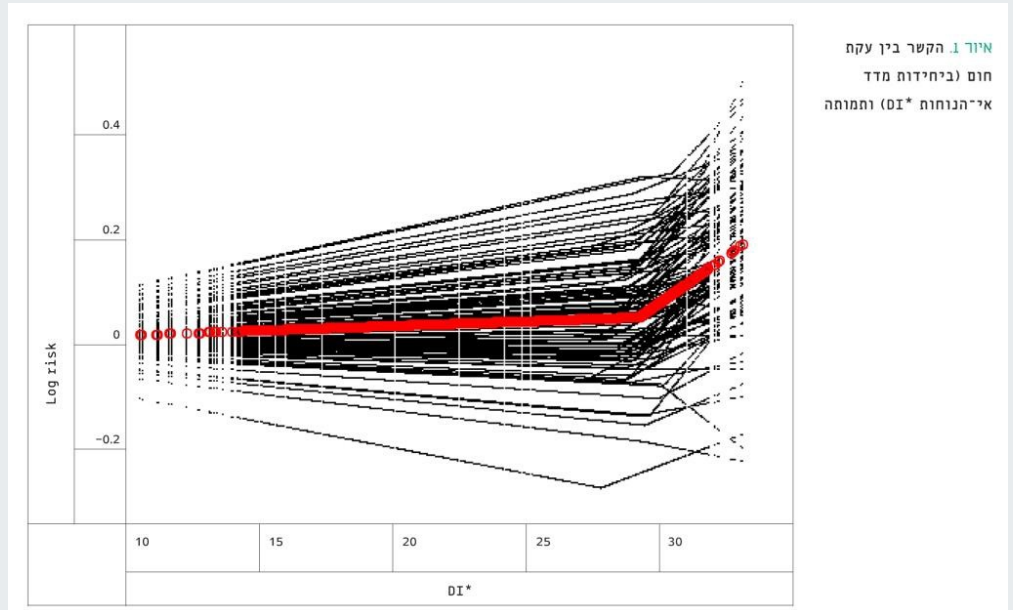
טבלה 1

נתונים מטאורולוגיים בתל-אביב ובערים ים תיכוניות אירופיות במהלך הקיץ (בחודשים אפריל-ספטמבר)

עבור כל אחד מהמשתנים המטאורולוגיים מוצגים הממוצע והטווח מינימום-מקסימום

עקומת הקשר בין מדד אי-הנוחות לבין התמותה (עקומת חשיפה-תגובה)

הקשר בין מדד אי-הנוחות DI^* (lag 0-3) והערך הלוגריתמי של שיעורי התמותה בתל-אביב היה בצורת J (איור 1). הדבר מצביע על סיכון לינארי מוגבר למוות מחשיפה לעקת חום שמעבר לסף. נמצא שסף מדד אי-הנוחות DI^* היה 29.3 (רווח בר-סמך בייזיאני של 28.0-30.7), ערך המוגדר כעקת חום חמורה. אפקט חום מדווח כשינוי באחוז התמותה הקשור בשינוי של יחידה אחת במדד אי-הנוחות DI^* מעל או מתחת לסף, כדלקמן: מעל סף של 29.3, עלייה של יחידה אחת במדד אי-הנוחות DI^* נמצאה קשורה לעלייה בתמותה של 3.72%, שהיא על גבול המובהקות (רווח בר-סמך בייזיאני של 0.23-8.72=90%). עם זאת, ירידה של יחידה אחת במדד אי-הנוחות DI^* מתחת לסף נמצאה קשורה לעלייה לא מובהקת בתמותה של 0.15% (רווח בר-סמך בייזיאני של 0.54-0.80=90%), שניתן להתייחס אליה כאל 0% (איור 1).



איור 1
הקשר בין עקת חום (ביחידות מדד אי-הנוחות DI*) ותמותה

נמצא כי לחנקן דו-חמצני השפעה מובהקת על התמותה; עלייה ב-10 חלקיקים למיליארד (ppb) בחשיפה קושרה לעלייה בתמותה בשיעור של 2.45% (רווח בר-סמך בייזאני של 90% = 0.449–4.4)

דיון

במחקר שתואר כאן מצאנו סף לעקת החום בתל-אביב, שנקבע ברמה של מדד אי-הנוחות $DI^* = 29.3$ (רווח בר-סמך של 90% = 28.0–30.7). רמה זו של עקת חום מוגדרת כעקת חום חמורה [7]. בשנים 2001–2004 היו 4% מהימים בתל-אביב מעל הסף שנמצא, ו-15% מהם היו מעל ערך של 28, שהוא ערך הסף לעקת חום חמורה. ספציפית מצאנו שעלייה של יחידה אחת במדד אי-הנוחות DI^* מעל הסף, מובילה לעלייה של 3.7% בתמותה היומית, במובהקות גבולית. יום בודד, שעקת החום עולה בו מעבר לסף, מספיק כדי לגרום עלייה בשיעורי התמותה, וזאת אף ללא התמשכות של גל חום.

במחקר זה נבדק אפקט בריאותי קיצוני של עקת חום – תמותה; לשלמות התמונה של הנטל הבריאותי יש לחקור גם את אפקט עקת החום על תחלואה קשה שמביאה לאשפוזים, ועל תחלואה קלה.

תוצאות אלה, שנמצאו עבור תל-אביב, ייתכן שאינן רלוונטיות לערים אחרות שנמצאות בפנים הארץ, וששוררים בהן תנאי אקלים שונים, בעיקר בכל הנוגע ללחות (כגון באר שבע וירושלים). כמו כן, ייתכן שאינן רלוונטיות לאזורים כפריים. נוסף על כך, יש קושי בהשוואה ישירה של הממצאים שלנו למחקרים אפידמיולוגיים אחרים על אקלים ותמותה, בשל הבדלים בשיטות המחקר [3] כגון: השימוש בהגדרת עקת החום – טמפרטורה יומית ממוצעת או מרבית של הסביבה [10,9,8,6] או טמפרטורה מדומה [13,5,2,1]; אופן הדיווח על השפעות החום – מעבר לערך סף [10,9,6,5,2] או ללא סף [13,8,1]; הגישה לאמידת ערך הסף – מבוססת על שיטה סטטיסטית של נראות מרבית (Maximum Likelihood) [2,5,10] או על בחינה של עקומות חשיפה-תגובה [9,6]; עונות השנה שנכללו במחקר – רק העונות החמות [13,8,2,1] או כל העונות [10,9,6,5]. כאשר מביאים בחשבון כמה הבדלים בשיטות המחקר, התוצאות שלנו מתאימות לתוצאות שנמצאו עבור ערים ים תיכוניות אירופיות; כלומר, עקומת קשר בצורת J וסף של 29.4 מעלות בטמפרטורה המדומה (בהשוואה לסף של 29.3 במדד אי-הנוחות DI^*). כמו כן, נמצאה עלייה דומה באחוזי התמותה מעל הסף, אף על פי שבתל-אביב הממוצע של הטמפרטורה המדומה גבוה יותר בקיץ בהשוואה לערים אירופיות ים תיכוניות. עם זאת, העלייה באחוזי התמותה מעל לסף עקת החום מובהקת פחות. ייתכן שאפשר להסביר ממצא זה בהטרוגניות האוכלוסייה בתל-אביב בכל הנוגע למעמד חברתי-כלכלי, ללאום (יהודים וערבים) ולמעמד ההגירה (עולים חדשים מבר"מ לשעבר או לא). ייתכן שאפשר לקשר את הממצא לשימוש הנרחב במזגנים הביתי בישראל, לבנייני הציבור הממוזגים מתוקף תקנות בנייה מחייבות [12] ולהתנהגות של הקשישים, שייתכן שנמנעים מיציאה מהבית המקורר בימים חמים.

השוואה בין תל-אביב וערים ים תיכוניות אירופיות לבין ערים בקוריאה [5], ששררו בהן רמות שונות של טמפרטורה ולחות, נמצא שבקוריאה התמותה מעל סף דומה (טמפרטורה מדומה של 23.3–29.7 מעלות) הייתה גדולה בהרבה – עלייה של מעלה

אחת בטמפרטורה המדומה נקשרה שם עם עלייה בתמותה בשיעור של 6.73–16.3% (בשש ערים). לעומת זאת, בתל-אביב נמצאה עלייה של 3.7% בתמותה (בתגובה לעלייה ביחידה אחת במדד אי-הנוחות DI*), ובערים ים תיכוניות אירופיות נמצאה עלייה של 3.1% בתמותה (בתגובה לעלייה במעלה אחת של טמפרטורה מדומה). לאחרונה פורסמו שני מחקרים אמריקאיים שטענו שאומדני השפעה של הטמפרטורה על התמותה דומים ברחבי קליפורניה בפרט וברחבי ארה"ב בכלל, גם כאשר טווחי הטמפרטורה המדומה היו שונים. בשני המחקרים נמצאה עלייה של כ-2% בתמותה לכל עלייה של 10 מעלות פרנהייט (כ-5.6 מעלות צלזיוס) בטמפרטורה המדומה [4,13], עלייה קטנה יותר מזו שצוינה לעיל. יש לציין כי מחקרים אמריקאיים אלה נבדלים גם בסעיפים אחרים בשיטות המחקר שלהם: במערכי המחקר (סדרות עתיות או הצלבת מקרה); בימי ה-lag שהובאו בחשבון (למשל 0, 4–0, ממוצע של יומיים) בתקופות הזמן שבמחקר; בסיבות המוות שנכללו; בקבוצות הגיל שנכללו; במודל הסטטיסטי.



עלייה של יחידה אחת במדד אי-הנוחות מעל לסף עקת חום חמורה, מובילה לעלייה של 7.3% בתמותה היומית / צילום: נעמן סער סתני ©

התפקיד שממלאים מזהמי האוויר הבאים: אוזון – O_3 , חומר חלקיקי גס – PM_{10} , חומר חלקיקי עדין – $PM_{2.5}$, פחמן חד-חמצני – CO וגופרית דו-חמצנית – SO_2 , כמשתנים מתערבים או כמשתנים משני השפעה (modifiers) בקשר טמפרטורה-תמותה עדיין לא ברור; יש חוקרים שמצאו שהמזהמים הללו שימשו משתנים מתערבים או משתנים משני השפעה, ואחרים לא מצאו עדויות לכך [3]. אנו מצאנו השפעה מובהקת מוספת של חנקן דו-חמצני (NO_2) כמייצג של איכות האוויר בתל-אביב.

למחקר שלנו יש כמה נקודות חוזק: מדובר במחקר הראשון מסוגו בישראל; מדד החשיפה היה מדד אי-הנוחות ולא רק טמפרטורה או לחות יחסית; כמו כן בדקנו את ההשפעות האפשריות של זיהום האוויר. אנו מציעים שהמחקרים הבאים בישראל יתמקדו במחצות השונים; יבחנו קשר בין עקת חום וסיבות מוות ספציפיות; יגדירו גלי חום ויבחנו את השפעתם על תמותה; יתייחסו לטמפרטורות מרביות ביממה.

לסיכום, עם התמשכות ההתחממות העולמית, סביר שיעלו תדירותם, עוצמתם ומשכם של ימים שתשרור בהם עקת חום חמורה. אף על פי שלאוכלוסייה הישראלית מודעות גבוהה להשפעות השליליות של החום על הבריאות, יש צורך חיוני במדיניות מקומית שתביא לירידה במספר מקרי המוות שקשורים לעקת חום.

תודות

ותבי המחקר מודים לאלונה רוזנברג על תרומתה להכנת הנתונים ולקן לבריאות וסביבה על תמיכה כספית.

Peretz C, Biggeri A, Alpert P, and Baccini M. 2012. The effect of heat stress on daily mortality in Tel Aviv, Israel. In: *National security and human health implications of climate change. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Netherlands: Springer

מקורות

1. Almeida SP, Casimiro E, and Calheiros J. 2010. Effects of apparent temperature on (daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environmental Health* **9**(12).
2. Baccini M, Biggeri A, Accetta G, et al. 2008. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology* **19**(5):711–719.
3. Basu R. 2009. High ambient temperature and mortality: A review of epidemiologic (studies from 2001 to 2008. *Environmental Health* **8**(40).
4. Basu R, Feng WY, and Ostro BD. 2008. Characterizing temperature and mortality in nine California counties. *Epidemiology* **19**(1):138–145.
5. Chung JY, Honda Y, Hong YC, et al. 2009. Ambient temperature and mortality: An international study in four capital cities of East Asia. *Science of the Total Environment* **408**(2): 390–396.
6. El-Zein A, Tewtel-Salem M, and Nehme G. 2004. A time-series analysis of mortality and air temperature in Greater Beirut. *Science of the Total Environment* **330**(1-3):71–80.
7. Epstein Y and Moran DS. 2006. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health* **44**(3): 388–398.
8. Hu W, Mengersen K, McMichael A, and Tong S. 2008. Temperature, air pollution and total mortality during summers in Sydney, 1994–2004. *International Journal of Biometeorology* **52**(7):689–696.
9. Iñiguez C, Ballester F, Ferrandiz J, et al. 2010. Relation between temperature and mortality in thirteen Spanish cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **7**(8): 3196–3210.
10. McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, et al. 2008. International study of temperature, heat and urban mortality: The 'ISOThURM' project. *International Journal of Epidemiology* **37**(5): 1121–1131.
11. Michelozzi P, Kirchmayer U, Katsouyanni K, et al. 2007. Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe – The PHEWE project: (Background, objectives, design. *Environmental Health* **6**(12).
12. Novikov I, Kalter-Leibovici O, Chetrit A, et al. 2012. Weather conditions and visits to the medical wing of emergency rooms in a metropolitan area during the warm season in

.Israel: A predictive model. *International Journal of Biometeorology* **56**(1): 121–127

Zanobetti A and Schwartz J. 2008. Temperature and mortality in nine US cities. *Epidemiology* **19**(4): 563–570. 13

נספחים (זמינים באתר)

נספח 1. המודל
למספר הפטירות ביום
(y_i)

[להורדה](#)