

אורגיה וסביבה | 01/23

אומדן הנזק הכלכלי מהתחממות המרחב הציבורי בעיר תל אביב- יפו

נעמה שפירא

אורלי נתן

דנה גבאי

פרופ' אופירה אילון

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



אומדן הנזק הכלכלי מהתחממות המרחב הציבורי בעיר תל אביב-יפו

נעמה שפירא
אורלי נתן
דנה גבאי
פרופ' אופירה אילון

ינואר 2023

העבודה מומנה על ידי עיריית תל אביב-יפו

An ounce of prevention is worth a pound of cure Benjamin Franklin

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברות ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

תוכן העניינים

3	תקציר.....
5	מבוא.....
7	תופעת אי החום העירוני.....
8	אי החום העירוני ותפיסת החום בתל אביב-יפו.....
10	תרחישי אקלים ושנת היעד.....
13	סקירת סוגי מחקרים קודמים.....
15	מתודולוגיית המחקר.....
17	השפעות שינויי האקלים.....
19	היבטי בריאות ורווחה.....
19	השפעות שינויי האקלים על הבריאות.....
20	אוכלוסיות פגיעות.....
22	כימות נזקים בריאותיים.....
22	השפעות שינויי האקלים על הבריאות – מחקרים מהעולם.....
26	השפעות שינויי האקלים על הבריאות – מחקרים על ישראל.....
29	השפעות שינויי האקלים על החינוך, התרבות והספורט.....
29	השפעות שינויי האקלים על התנהגות אנטי-סוציאלית.....
30	השפעות שינויי האקלים על הרווחה (צדק סביבתי).....
31	תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי בריאות.....
33	היבטי אנרגיה.....
35	תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי אנרגיה.....
38	היבטי פיתוח כלכלי.....
38	השפעות שינויי האקלים על פיריון העבודה והמשק.....
43	השפעות שינויי האקלים על התיירות.....
44	השפעות שינויי האקלים על תשתיות.....
45	השפעות שינויי האקלים על התחבורה.....
45	השפעות שינויי האקלים על המרקם העירוני הייחודי.....
46	תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי פיתוח כלכלי.....
48	היבטי אקולוגיה.....
51	תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי אקולוגיה.....
52	שינוי בתוצר המקומי הגולמי.....
56	תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – בהתאם לתמ"ג.....
58	סיכום הניתוח הכלכלי.....
59	תופעת אי החום העירוני והתפלגות הנזק בתוך העיר.....
60	מגבלות המחקר בתחום.....
62	המלצות למחקרי המשך.....
63	נספח – תרחישי אקלים בישראל ובתל אביב-יפו.....

תקציר

שינויי האקלים מעלים את התדירות והחומרה של אירועי מזג אוויר קיצוני בכל העולם, כאשר **חום קיצוני אחראי ליותר מקרי מוות מכל אסון אקלימי אחר ברחבי העולם**. הפורום הכלכלי העולמי, מצביע על 'כישלון בפעולות אקלים' ו'אירועי מזג אוויר קיצוניים' מבין הסיכונים העולמיים החמורים ביותר, גם בטווח הקצר וגם בטווח הארוך.

תושבי הערים, חשופים במיוחד לאיום זה בשל תופעת אי החום העירוני, והשפעות האקלים מורגשות באופן לא פרופורציונלי בקהילות עירוניות בשוליים הכלכליים והחברתיים. המזרח התיכון, לצד אסיה, הינם האזורים שבהם בערים רבות נחוות טמפרטורות גבוהות כבר כיום, ומספר הימים עם חום גבוה והיקף גלי החום יגדלו משמעותית לקראת 2050, ואלו גם אזורים בהם צפויים הנזקים המשמעותיים ביותר. ערים אמנם משתרעות רק על כ-1% משטח כדור הארץ, אך הן אחראיות לייצור של כ-80% מהתוצר העולמי הגולמי, צורכות כ-78% מהאנרגיה ומייצרות יותר מ-60% מפליטות גזי החממה העולמיות, ולכן חשוב במיוחד ליישם בהן מדיניות אקלים מתקדמת.

עבודה זו בוחנת את ההשפעות של התחממות המרחב העירוני בתל אביב-יפו על היבטים כלכליים שונים ברווחת ציבור לקוחות העיר (עסקים, תיירים, ותושבים) ובכלכלת העירייה, בשנת 2050. ההתייחסות להשפעות באמצע המאה מגלמת איזון טוב בין איכות התחזיות וחוסר הוודאות. לגבי שנים קרובות יותר, לא פעם השינויים הם מינוריים, אין פערים בין תרחישים שונים וגם אין אפשרות אמיתית לשנות באופן מהותי את פני הדברים – התהליכים שהתרחשו עד עכשיו קובעים במידה רבה את המצב עד לאמצע המאה, ואילו פעולות שינקטו בעשורים הקרובים הן בעלות פוטנציאל השפעה אמיתי על השנים לאחר 2050. עבודה זו בוחנת שני תרחישי התחממות אפשריים – תרחישי RCP4.5 ו-RCP8.5, שמופיעים כשני תרחישים מרכזיים בתחזיות שונות, הינם מספיק שונים אחד מהשני וגם משמשים בתחזיות של השירות המטאורולוגי הישראלי. עבודה זו עוסקת בכימות הנזקים כתוצאה מעליית הטמפרטורות, בלבד. השפעות כתוצאה משינויי אקלים נוספים כגון, הצפות, עליית מפלס הים, שריפות, בצורות ועוד אינן תחת תכולת עבודה זו, על אף שישנן השפעות גומלין בין התופעות.

עבודה זו סקרה עשרות מקורות מידע שבוחנים את הסוגיה מנקודות מבט שונות – הסתכלות גלובלית, בחינה אזורית, ומדינתית, התמקדות עירונית, ובחינה נושאית. כמו כן נסקרו מקורות מידע מישראל שעסקו בתחום, ועשרות מאמרים אקדמיים. סקירת הספרות הרחבה מתארת במפורט את ההשפעות הצפויות ומדדים אפשריים לכימותן, ומתמקדת בתחומים קונקרטיים של בריאות ורווחה, אנרגיה, פיתוח כלכלי ואקולוגיה, בהתאם לגישה המכונה bottom-up. ובנוסף, מודגמת גישה נוספת – top-down – אשר מכמתת את הנזקים הצפויים כשיעור מהתמ"ג.

מתוך סקירת הספרות מוצה מערך פרמטרים המתאים לתרחישים שנבחנו ולשנת היעד 2050, עבור כל היבט של התחממות האקלים שנמצא עבור מידע. לאחר מכן, בוצעה במידת האפשר, אקסטרפולציה של הנתונים לתנאי המשק העירוני בתל אביב-יפו. הכימות הכלכלי מתבסס על פרמטרים מאקרו-כלכליים ורמת מחירים של שנת המחקר (2021), וכן בוצעה התאמה לגידול החזוי באוכלוסייה לשנת 2050 כאשר יתר המשתנים נותרו קבועים.

חשוב להדגיש כי המחקר בתחום זה עדיין נמצא בראשיתו וההערכות הכלכליות מתייחסות רק לחלק מהשפעות ההתחממות, כך שבסיס הראיות לעבודה זו הינו חסר. בנוסף, מרבית המחקרים הקיימים משקללים סיכונים אקלימיים שונים, אך בעבודה זו אנו מתמקדים בהיבט של ההתחממות בלבד. מגבלה נוספת הינה חוסר אחידות בנתונים הנובעת מהיעדר סטנדרטיזציה במתודולוגיות השונות ושיטות המחקר המיושמות במחקרים השונים והתוצאה היא שונות גבוהה מאוד בין הממצאים. בנוסף, ישנה אי ודאות לגבי התנאים הסוציו-אקונומיים בטווח הארוך, דבר המקשה על חיזוי ההשפעות הכלכליות הישירות והעקיפות של התחממות האקלים. **לאור מגבלות המחקר ובכך שמדובר בתחשיב ראשוני בלבד ננקטה גישה שמרנית בעריכת האומדנים וזאת על מנת להגדיל את רמת מהימנות התחשיב.**

לצורך התחשיב, בוצע אומדן על פי מחירי שוק בתחומים כמו עלויות האנרגיה, ולפי אמידת עלויות חימום כמו בתחומי התמורה והתחלואה. בשני המקרים הניתוח הינו ראשוני וסכמטי, ומתבסס על מחקר קיים ויכולת ההתאמה לנתוני העיר, כך שאין לראות בכימות כלכלי זה את מלוא ההשפעה הכלכלית על תועלת ורווחת החברה, אך הוא מהווה עוגן כלכלי אשר ניתן להסתמך עליו לצורכי קביעת מדיניות, סדרי עדיפויות וקבלת החלטות.

התחשיב הכלכלי מעלה כי עלות הנזק בעיר תל אביב-יפו מהתחממות האקלים בשנת 2050, תוך התחשבות בגידול האוכלוסייה הצפוי בשנה זו, נעה בין 2 מיליארד ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP4.5, ל-4 מיליארד ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP8.5. כימות bottom-up של רכיבי הנזק הישירים שיש עבורם מידע מחקרי מבוסס מסביר בין 50% ל-75% מהנזק שנאמד.

הפער בין התוצאות שהתקבלו בשתי שיטות ההערכה נובע משתי סיבות:

מצד אחד, ההערכות לגבי אובדן תמ"ג כוללות בדרך כלל גם השפעות אקלימיות שהן מעבר להיקף עבודה זו, כגון, הצפות, שריפות ועליית מפלס הים, שאחראים למשל על מרבית הנזק הצפוי לתשתיות.

מצד שני, כימות ה-bottom-up כולל רק השפעות "ידועות-ידועות" – השפעות שלגביהן ישנו בסיס מחקרי מוצק המכמת את השפעת ההתחממות וגם האמידה הכלכלית הינה ידועה ומהימנה. הכימות לפי שיטה זו אינו כולל השפעות רבות אשר צפויות לגרום נזקים נוספים, ובהם פגיעות אקולוגיות, מחסור במשאבי מים, פגיעה במסחר ובכלכלה וסיכונים פיננסיים נגזרים (אי מתן אשראי לעסקים בסיכון אקלימי, לדוגמא), עלויות כתוצאה מהגירת אקלים ופשיעה.

הפנמת תופעת אי החום העירוני צפויה להכפיל את הנזק הנאמד בשנת 2050, וכן יש להניח כי התפלגות הנזק אינה אחידה הן מבחינת האוכלוסייה המושפעת והן מבחינה גאוגרפית, ולפיכך צפוי כי עיקר הנזק, בעיקר בהיבט הבריאותי, יהיה בדרום העיר.

ארגון המטאורולוגיה העולמי (WMO) פרסם לאחרונה עדכון תחזית אשר על פיה ישנה סבירות של 93% לכך שלפחות אחת מהשנים בטווח 2022-2026 תהיה השנה החמה בהיסטוריה, וסבירות דומה לכך שממוצע הטמפרטורה בשנים אלו יהיה גבוה מהממוצע בשנים 2017-2021. בנוסף, ההסתברות שממוצע הטמפרטורה השנתית העולמי בחמש השנים הקרובות יגיע לעלייה של 1.5 מעלות צלזיוס (מ"צ) ביחס לעידן הטרום תעשייתי מתקרבת ל-50%, כאשר רק ב-2015 ההסתברות לכך הייתה קרוב לאפס¹.

שינויי האקלים מעלים את התדירות והחומרה של אירועי מזג אוויר קיצוני בכל העולם, כאשר **חום קיצוני אחראי ליותר מקרי מוות מכל אסון אקלימי אחר ברחבי העולם**^{2 3}. הפורום הכלכלי העולמי, בדו"ח הסיכונים העולמיים של שנת 2022⁴, מזהה 'כישלון בפעולות אקלים' ו'אירועי מזג אוויר קיצוניים' כשני הסיכונים העולמיים החמורים ביותר, ובין שלושת הראשונים גם בטווח הקצר וגם בטווח הארוך.

תושבי הערים, חשופים במיוחד לאיום זה בשל תופעת אי החום העירוני, והשפעות האקלים מורגשות באופן לא פרופורציונלי בקהילות עירוניות בשוליים הכלכליים והחברתיים. קבוצות חברתיות אלו, כגון, אוכלוסייה החיה בעוני, קשישים, אוכלוסייה עם מוגבלות וחולים במחלות כרוניות, נשים ואוכלוסיות תחת אלימות מגדרית, חשופות יותר לחום קיצוני בשל מגורים במבנים באיכות נמוכה⁵, באזורים צפופים עם פחות צמחייה וצל, כיוון שנאלצים לעבוד בחוץ – בבנייה, תברואה או תחזוקה, וכן בשל חוסן נמוך. עקב כך, אוכלוסיות אלו הינן הפגיעות ביותר, והשתייכות ליותר מקבוצה אחת אף מעצימה את הפגיעות, ומעצבת חוויות ייחודיות של פגיעות וסיכון ואת יכולות ההסתגלות של קבוצות ויחידים^{6 7}.

כיום, 14% מאוכלוסיית הערים בעולם חיה תחת תנאי חום קיצוניים, בשנת 2050 כ-45% מתושבי הערים יסבלו מטמפרטורות גבוהות בקיץ – מספר הערים שתהיינה חשופות לטמפרטורות של מעל 35 מ"צ יגדל פי 3 עד שנת 2050, ומספר האנשים שיושפעו מכך יגדל לכ-1.6 מיליארד אנשים בשנת 2050, פי 8 מהמצב כיום⁸. עד 2100 בין מחצית ל-75% מהאוכלוסייה האנושית (בהתאם לתרחישי RCP2.6 ו-RCP8.5, בהתאמה) עלולה להיחשף לתקופות של אקלים מסכן חיים, כתוצאה מחום ולחות קיצוניים⁹. המזרח התיכון, לצד אסיה, הינם האזורים שבהם בערים רבות נחוות טמפרטורות גבוהות כבר כיום, ומספר הימים עם חום גבוה והיקף גלי החום יגדלו משמעותית לקראת 2050, ואלו גם

¹ <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-update-5050-chance-of-global-temperature-temporarily-reaching-15C2%B0c-threshold>

² <https://www.c40.org/what-we-do/scaling-up-climate-action/adaptation-water/the-future-we-dont-want/heat-extremes/>

³ EEA (European Environment Agency) (2020). Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe. <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives>

⁴ World economic forum (2022). Global Risks Report 2022. <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2022>

⁵ ירידה בנוחות התרמית ועלייה בסיכוני התחממות יתר תלויה במאפייני הבנייה, כגון, בידוד תרמי, נוכחות של הצללה, מסה תרמית, אוורור, אוריינטציה ומיקום גאוגרפי.

⁶ המשרד להגנת הסביבה, משרד האנרגיה ומשרד הפנים (2022). מדריך להכנת תוכנית פעולה מקומית להיערכות לשינוי אקלים ואנרגיה מקיימת. https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/local_action_plan

⁷ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) WGII Sixth Assessment Report (2022). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

⁸ UCCRN (Urban Climate Change Research Network) (2018). THE FUTURE WE DON'T WANT. How Climate Change Could Impact the World's Greatest Cities. Technical Report. https://www.c40.org/wp-content/uploads/2021/08/1789_Future_We_Dont_Want_Report_1.4_hi-res_120618.original.pdf

⁹ IPCC WGII Sixth Assessment Report (2022). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

אזורים בהם צפויים הנזקים המשמעותיים ביותר¹⁰. בישראל כבר כיום תושבי הערים מהווים כ-92% מהאוכלוסייה והמצב אף עלול להחריף, שכן קצב גידול האוכלוסייה בישראל הוא הגבוה מבין המדינות המפותחות¹¹.

ערים אמנם משתרעות רק על כ-1% משטח כדור הארץ, אך הן אחראיות לייצור של כ-80% מהתוצר העולמי הגולמי, צורכות כ-78% מהאנרגיה ומייצרות יותר מ-60% מפליטות גזי החממה העולמיות, ולכן חשוב במיוחד ליישם בהן מדיניות אקלים מתקדמת. מאמצים מקומיים יכולים להיות קלים יותר ליישום, פוליטית, ובעלי תועלת גם לטווח הקרוב. בנוסף, אם לא ינקטו צעדים להפחתת אי החום העירוני, צעדי ההפחתה הגלובליים יהיו הרבה פחות אפקטיביים בהפחתת השפעות האקלים¹².

על פי דו"ח של מבקר המדינה שעוסק בהיערכות ישראל לשינויי האקלים¹³, נכון ל-2021, אף גוף ממשלתי כלכלי או גורם האמון על תחזיות מקרו-כלכליות בישראל, לא ביצע הערכה לאומית בנוגע לנזקים ולהשפעות של שינויי האקלים על המשק הישראלי לטווח הארוך בתרחיש "עסקים כרגיל" ובתרחישים נוספים. עם זאת, ניתוחים כלכליים שנסקרו מראים כי אם ישראל לא תנקוט צעדים להאטת שינויי האקלים, הנזק הכלכלי משינויי האקלים יהיה גבוה יותר מהעלות למשק של תהליך הפחתת הפליטות.

¹⁰ S&P Global (2022). Weather Warning: Assessing Countries' Vulnerability To Economic Losses From Physical Climate Risks. <https://www.spglobal.com/ratings/en/research/pdf-articles/220427-economic-research-weather-warning-assessing-countries-vulnerability-to-economic-losses-from-physical-clim-101529900>

¹¹ <https://strategicasessment.inss.org.il/articles/even/>

¹² Estrada, F., Botzen, W. J., & Tol, R. S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406.

¹³ מבקר המדינה (2021). דו"ח מיוחד: פעולות ממשלת ישראל והיערכותה למשבר האקלים. פרק 3 - היבטים כלכליים ופיננסיים של משבר האקלים. <https://www.mevaker.gov.il/sites/DigitalLibrary/Pages/Reports/7357-4.aspx>

תופעת אי החום העירוני

תופעת אי החום העירוני נגרמת כיוון שרבות מהערים בנויות ממשטחים כהים ואטומים כגון אספלט ובטון אשר סופחים ומקרינים חום, והן חסרות שטחים ירוקים המהווים גורם ממוזג. בנוסף, פעילות אנושית ותעשייתית מייצרות חום, בעוד שהבינוי העירוני מאט או חוסם משבי רוח טבעיים¹⁴ ¹⁵. גורמים אלו מביאים לכך שהערים הינה חמות יותר בממוצע משטחים פתוחים ובתקופת של טמפרטורות מאמירות, הטמפרטורה בערים עשויות לעלות משמעותית מעל הפער הממוצע, ואף בתוך ערים, שכונות חוות מיקרו-אקלים מגוון¹⁶ (ראו פירוט להלן בתת הפרק 'אי החום העירוני ותפיסת החום בתל אביב-יפו'). לא רק שערים חמות יותר אלא שהן מתחממות כמעט פי 2 יותר מהר מהממוצע העולמי¹⁷.

ערים חוות את תופעת אי החום העירוני באופן שונה זו מזו בהתאם לאקלים ולקרבה של גופי מים. רבות מהערים חוות את הפרשי הטמפרטורות של אי החום העירוני **בלילות** הקיץ, על אף שהשפעות המשמעותיות מתבטאות במהלך היום. בהתייחסות שנתית התופעה יכולה להיות כמעט זניחה, אך באופן זמני יכולים להיות גם הפרשים של קרוב ל-20 מ"צ (למשל, בטוקיו יפן)¹⁸.

מחקר¹⁹ אשר בחן כ-1,700 מהערים הגדולות בעולם מצא שלגבי הערים הצפופות ביותר (ה-5% העליונים) תופעת אי החום תוסיף 2.08 ו-2.35 מ"צ לטמפרטורה בשנים 2050 ו-2100, בהתאמה. בערים החציוניות התוספת תהיה: 0.84 ו-0.93 מ"צ, בהתאמה. לפיכך, תופעת אי החום העירוני תכפיל את אובדן התוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) בערים החציוניות בשנת 2050, הן בתרחיש RCP8.5 והן בתרחיש RCP4.5, לעומת אובדן התמ"ג הצפוי ללא התחשבות בתופעת אי החום העירוני.

השפעות ההתחממות יורגשו בתחומים רבים ושונים. כאשר העיר מתחממת היא מחוללת אי-נוחות תרמית במרחב העירוני באופן שמקשה לנצל את המרחב למגוון פעילויות כמו הליכה וביולי ברחובות העיר, רכיבה על אופניים או פעילות ספורטיבית אחרת, המתנה לאוטובוס וכדומה. האוכלוסייה נאלצת לשהות מרבית הזמן בחללים ממוזגים – מבנים ותחבורה ממונעת – ונוצר "מעגל חום" המזין את עצמו באופן שלילי²⁰ ²¹. השימוש המוגבר באנרגיה מעלה את הסיכון לעלויות במתח, להפסקות חשמל, ולהעלאת עומסי שיא, אשר לא רק מגבירים את הפליטות, אלא גם מעמידים את תשתיות האנרגיה בסיכון של הפרעה מערכתית, ועלולים להביא לשיבושים בעסקים ובמסחר, ובשירותי הרפואה והתחבורה²². שילוב שלי גלי חום עם תופעת אי החום העירוני מציבה סיכונים בריאותיים משמעותיים לאוכלוסייה העירונית²³. על פי הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA) ההשפעות השליליות המרכזיות של אי החום העירוני

¹⁴ UCCRN (2018). Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., and Ali Ibrahim, S. (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

¹⁵ Climate-ADAPT. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/eu-adaptation-policy/sector-policies/urban/index.html/#impacts-and-vulnerabilities>

¹⁶ UCCRN (2018). Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., and Ali Ibrahim, S. (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

¹⁷ IPCC WGII Sixth Assessment Report (2022). *Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

¹⁸ Miner, M. J., Taylor, R. A., Jones, C., & Phelan, P. E. (2017). Efficiency, economics, and the urban heat island. *Environment and Urbanization*, 29(1), 183-194.

¹⁹ Estrada, F., Botzen, W. J., & Tol, R. S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406.

²⁰ עומרי ברמון (2021). איך הופכים את העיר מאי חום לנווה מדבר. [שפת רחוב - מגזין עירוני](#)

²¹ Lovecchio, J., Basic, G., & Pawlowski, T. (2020). Urban heat, vulnerability, and the public realm: lessons from Tel Aviv-Yafo and implications for COVID-19 recovery. *Smart Sustain Fair Cities*, 40, 108-136.

²² Chapman, L., Azevedo, J., Prieto-Lopez, T. (2013) Urban heat and critical infrastructure networks: A viewpoint. *Urban Climate*, 3: 7-12.

²³ UCCRN (2018). Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., and Ali Ibrahim, S. (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

הינן עלייה בצריכת האנרגיה לקירור, עלייה בזיהום אוויר, סיכונים לחיי אדם וחוסר נוחות, ואיכות מים ירודה. כאשר ההשפעה המשולבת של שינויי האקלים ותופעת אי החום העירוני גדולה מסך חלקיה (אינה לינארית)²⁴. על פי מחקר שבוצע במלבורן אוסטרליה²⁵, תרומת תופעת אי החום העירוני מהווה כשישית מהנזק הכלכלי הכולל לעיר בשל עליית הטמפרטורה.

אי החום העירוני ותפיסת החום בתל אביב-יפו

במדידות מטאורולוגיות בגובה של 2 מטר²⁶, נמצא כי בקיץ במהלך היום העיר תל אביב-יפו חמה בכ-3.6 מ"צ מהסביבה הכפרית, ובכ-4 מ"צ במהלך הלילה²⁷ (בעוד שמחקר שהשתמש בשיטות מדידה אחרות הצביע על הפרש של 2 מ"צ ביום וללא הפרש ניכר בלילה²⁸). ההשפעה המקררת של פארקים נמצאה רק במהלך השעות החמות (09:00-17:00).

עם זאת, במדידות של טמפרטורת פני הקרקע נמצאו גם הבדלים משמעותיים בין אזורים שונים בתוך העיר, כתוצאה מהיקף הצמחייה בשכונות, מצבע גגות הבתים, מצפיפות הבינוי, ורוחב וכיוון הרחובות²⁹ – דרום העיר הייתה חמה ב-6-8 מ"צ בהשוואה לצפון העיר בשל מחסור בצמחייה עירונית. שכונת פלורנטין חמה בכ-2 מ"צ משכונת שפירא, שכן גגות הבתים בה כהים יותר בדרך כלל, רחובות השכונה רחבים יותר וקולטים יותר קרינה ישירה וחסר בה כיסוי צמחייה. גם בתוך השכונה נרשמו הבדלים, צפון פלורנטין חמה יותר מהחלק הדרומי שלה בשל צפיפות בינוי גבוהה יותר. בשכונת שפירא, האזור הצפון-מערבי חם יותר מהאזור הדרום-מזרחי, בשל הבדלים בצבע הגגות (גגות רעפים אדומים לעומת גגות מסוידיים) והצמחייה. במערב השכונה, גנים עירוניים היו קרים בכ-6 מ"צ מהסביבה הבנויה הצפופה, בדרום-מערב השכונה נמצא הפרש של 2 מ"צ, בין הסביבה הבנויה לבין יער עירוני קטן עם עצים רחבי עלים – סך הכול, בשכונות החמות, גנים שכונתיים מורידים את טמפרטורת האוויר בעד 3.5 מ"צ. עוד נמצא כי טמפרטורת פני הקרקע ברחובות המשתרעים ממזרח למערב הייתה חמה יותר בעד 2 מ"צ, על אף שהם פתוחים יותר לבריזה מהים, לעומת רחובות בכיוון צפון-דרום, בשל הצללה מהסביבה הבנויה.

נוסף על מדידת טמפרטורות, ישנה חשיבות להיבט של תפיסת החום על ידי הגורם האנושי. מונחים כגון נוחות תרמית, תחושה תרמית או מדד הטמפרטורה הפיזיולוגית השקולה³⁰ (PET – Physiological Equivalent Temperature), משלבים פרמטרים של מזג אוויר עם פרמטרים תרמו-פיזיולוגיים – טמפרטורת האוויר, הקרינה, הלחות היחסית, והרוח (משתנים אקלימיים-חיצוניים), וכן רמת המטבוליזם של האדם וסוג לבושו (משתנים התלויים באדם עצמו). כך למשל, נמצא במחקר ישראלי³¹ כי טמפרטורות אוויר של 28.2 מ"צ בקיץ היא מקבילה למדד PET של 29.3 בצל מלא, 40.7 בצל חלקי ו-54.1 בתנאי שמש מלאה. מחקר נוסף מדגים את הפער בתחושה התרמית (במונחי PET) בין אזורים שונים בעיר תל אביב-יפו במהלך יום אחד ביוני 2019 (איור 1).

²⁴ Estrada, F., Botzen, W. J., & Tol, R. S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406.

²⁵ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

²⁶ תופעת אי החום העירוני נמדדת באמצעות טמפרטורת האוויר בגובה חופת העצים, לעומת מדד אחר שמתייחס לטמפרטורת פני הקרקע (SUHI – Surface Urban Heat Island).

²⁷ Mandelmlilch, M., Ferenz, M., Mandelmlilch, N., & Potchter, O. (2020). Urban Spatial Patterns and Heat Exposure in the Mediterranean City of Tel Aviv. *Atmosphere*, 11(9), 963.

²⁸ Bitan, A., Noy, L., & Turk, R. (1992). The impact of the seashore on the climate of Tel-Aviv. *Scientific reports of the Institute for Meteorology and Climate Research of the Karlsruhe University*, 16, 147-160.

²⁹ Mandelmlilch, M., Ferenz, M., Mandelmlilch, N., & Potchter, O. (2020). Urban Spatial Patterns and Heat Exposure in the Mediterranean City of Tel Aviv. *Atmosphere*, 11(9), 963.

³⁰ מדד המשמש למדידת הנוחות התרמית של אדם במצב נתון על ידי השוואת התגובות הפיזיולוגיות שלו לאלו שיהיו לו בסביבת הייחוס, למשל משרד שבו הוא מרגיש בנוח בדרך כלל.

³¹ פרוינדליך, א. (2016). המורכבות התרמית-אנושית בסביבה הפתוחה: השפעתם של גורמים מיקרו-מטאורולוגיים על העומס התרמי בתנאי חוץ בישראל - ניתוח תיאורטי באמצעות מודל ביו-מטאורולוגי. *הרשת הגאוגרפית*, 9, 1-14.

תרחישי אקלים ושנת היעד

תחזיות שינויי האקלים כרוכות בהערכה של מספר אי-ודאויות, חלקן קשורות למערכת האקלימית ולרגישות של האקלים לעלייה בריכוז גזי החממה באטמוספירה, וחלקן להערכות לגבי כמות גזי החממה שנפלטות בהתאם לתרחישי פליטה שונים ולטכנולוגיות שונות. על אף שתאורטית ישנה כמות עצומה של תרחישים, בפועל, הן הציבור והן מקבלי ההחלטות עשו לרוב שימוש במספר תרחישים מצומצם שפורסמו בדו"חות ההערכה של פאנל מדעני האקלים של האו"ם (להלן, IPCC). ההתפתחות של סטי התרחישים מתקופה לתקופה מנסה לתת ביטוי למידע כלכלי וחברתי חדש, טכנולוגיות מתפתחות, ותצפיות לגבי גורמים סביבתיים.³⁷

חלק נכבד מהמחקרים העדכניים על השפעות אקלימיות עתידיות, כמו גם דו"ח ההערכה החמישי של האו"ם³⁸, עושים שימוש בסט תרחישים שנקרא RCPs (Representative Concentration Pathways) המשלב את ההשפעות של גזי חממה, אירוסולים וגורמים אחרים אשר תורמים ללכידת חום נוסף באטמוספירה.³⁹ התרחישים מציינים את השינוי בקרינה הצפויה (בוואטים) למטר מרובע בסוף המאה, ביחס לתנאים טרום המהפכה התעשייתית. כאשר לעיתים קרובות מתמקדים בתרחיש פליטות גבוה הנקרא RCP8.5, או תרחיש "עסקים כרגיל", ואשר מבטא את התוצאות הסבירות בהינתן שלא ינקטו צעדים משמעותיים להפחתת פליטות גזי חממה. טבלה 1 להלן מציגה את המאפיינים המרכזיים של התרחישים השונים.

טבלה 1: תיאור תרחישי RCP⁴⁰

Pathway	Scenario description
RCP 2.6	Under RCP 2.6, carbon concentration delivers radiative forces at an average of 2.6 watts per square meter (W/m ²). According to the IPCC, under "a very stringent" RCP 2.6 pathway, average global temperature rise will remain below 2°C by 2100. This is the Paris Agreement's long-term target, alongside an "aspirational" goal of a limit of a 1.5°C increase.
RCP 4.5	The IPCC says RCP 4.5 is an intermediate scenario. Emissions in the atmosphere peak at around 2040 and then decline. Under the RCP 4.5 pathway, global temperatures will rise by between 1.7–3.2°C by 2100. For mid-century (2046–2065) this means a likely range of 1.5–2.6°C warming.
RCP 6.0	In RCP 6.0, emissions peak around 2080 and then decline. In this scenario, global temperatures will rise by between 2.0–3.7°C between the years 2081–2100 from pre-industrial times.
RCP 8.5	This pathway assumes no action is taken to reduce GHG emissions. In this scenario, according to the IPCC, global temperatures will rise by between 3.2–5.4°C between the years 2081–2100 from pre-industrial times. For mid-century, the likely range is 2.0–3.2°C warming. Our severe scenario assumes the higher end of 3.2°C warming by mid-century.

סט תרחישים קודם, אשר מופיע בחלק מהמחקרים שסקרנו, ובו נעשה שימוש בדו"חות ההערכה השלישי⁴¹ והרביעי⁴² של האו"ם, נקרא SRES (Special Report on Emission Scenarios) כאשר כל אחד מהתרחישים שבו מבוסס על מספר הנחות עקביות – התמקדות בכלכלה לעומת הסביבה ועולם הומוגני (גלובליזציה) לעומת הטרוגני (אזוריות), וכן התייחסות לתמהיל אנרגיה. יש דמיון מסוים בין התרחישים השונים, אך לא זהות מוחלטת – השוואת ריכוז הפחמן הדו חמצני והשינוי בטמפרטורה בין התרחישים יצביע על כך שב-2100 תרחיש SRES A1FI דומה לתרחיש RCP8.5, תרחיש

³⁷ <https://www.carbonbrief.org/explainer-the-high-emissions-rcp8-5-global-warming-scenario>

³⁸ IPCC Fifth Assessment Report (2014). <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

³⁹ דו"ח ההערכה השישי של האו"ם שיצא לאחרונה, עושה שימוש בסט תרחישים חדש (SSPs – Shared Socioeconomic Pathway) אשר מתייחס לרמות של גזי חממה באטמוספירה אך גם לשינויים סוציו-כלכליים. עבודה זו לא מתייחסת לתרחישים אלו שכן מחקרים שמתבססים עליהם רק מתחילים להתפרסם כעת.

⁴⁰ Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

⁴¹ IPCC Third Assessment Report (2001). TAR Climate Change 2001: Synthesis Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar3/syr/>

⁴² IPCC Fourth Assessment Report (2007). <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>

SRES A1B דומה לתרחיש RCP6.0, ותרחיש SRES B1 דומה לתרחיש RCP4.5.⁴³ באמצע המאה, תרחיש SRES B1 דומה גם ל-RCP6.0.⁴⁴

יש להדגיש שבשל אי-הוודאות הגבוהה במידול תרחישי האקלים, ההתפלגות סביב הערכות של ריכוז גזי החממה ושינויי הטמפרטורה היא רחבה מאוד, כך למשל, בתרחיש RCP4.5 ממוצע ההתחממות ינוע בטווח של 2-3.2 מ"צ. זאת ועוד, ישראל מתחממת יותר מהממוצע העולמי – כך למשל, מחקר⁴⁶ שערך השוואה בין הטמפרטורה בקיץ (בירושלים) לבין הממוצע העולמי העריך שכאשר הטמפרטורה העולמית תעלה בכ-2 מ"צ, הטמפרטורה במזרח התיכון תעלה ב-2.5 מ"צ, וכאשר הטמפרטורה העולמית תעלה בכ-3 מ"צ, הטמפרטורה במזרח התיכון תעלה ב-4.5 מ"צ. **עבודה זו מתמקדת בתרחישי RCP4.5 ו-RCP8.5, שמופיעים כשני תרחישים מרכזיים בתחזיות שונות, הינם מספיק שונים אחד מהשני וגם משמשים בתחזיות של השירות המטאורולוגי הישראלי (פירוט משמעויות התרחישים בהקשר הישראלי יובא להלן בפרק 'סיכום הניתוח הכלכלי', ובנספח).**

הפרשים בעליית הטמפרטורה (עלייה של מעלה לעומת עלייה של שתי מעלות) הינם משמעותיים לפחות בשני היבטים – בהיבט הכלכלי, העדויות מצביעות על כך שההשפעות של שינויי האקלים, למשל על הפרייון והבריאות, נחשבות בדרך כלל ללא-לינאריות ביחס לטמפרטורה^{47 48 49 50 51}, כלומר, התחממות כפולה תייצר נזקים גבוהים מפי שתיים. בהיבט האקלימי, התחממות האקלים תביא לשכיחות גבוהה יותר של אירועי קיצון. על אף שמרבית המודלים בוחנים שינוי לינארי ולא מתחשבים באירועי קיצון^{52 53}, יש לתת את הדעת על כך שמרבית הנזקים (60%) נגרמים ממספר קטן של אירועי קיצון. הקושי בהערכה נובע מכך שיש שונות גבוהה בין השנים וקשה להצביע על מגמת^{54 55}.

מחקר זה בוחן את ההשפעות על היבטים כלכליים שונים ברווחת ציבור לקוחות העיר (עסקים, תיירים, ותושבים) ובכלכלת העירייה, הן של השינוי בטמפרטורה (תוך התייחסות לתוספת הימים שבהן הטמפרטורה חצתה רף מסוים),

⁴³ <https://www.globalchange.gov/browse/multimedia/emissions-concentrations-and-temperature-projections>

⁴⁴ <https://cig.uw.edu/wp-content/uploads/sites/2/2020/12/snoveretalsok2013sec3.pdf>

⁴⁵ <https://www.climatechangeinaustralia.gov.au/en/projections-tools/climate-futures-tool/experiments/>

⁴⁶ World Bank Group (2014). Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal. Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20595>

⁴⁷ Estrada, F., Botzen, W. J., & Tol, R. S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406.

⁴⁸ Carleton, T. A., & Hsiang, S. M. (2016). Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304), aad9837. https://gspp.berkeley.edu/assets/uploads/research/pdf/CARLETON_HSIANG_SCI-ENCE_2016.pdf

⁴⁹ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

⁵⁰ Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), 235-239.

⁵¹ UCCRN (2018). Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

⁵² Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

⁵³ צמח שמיר, ש., (2019). הנזק הכלכלי של משבר האקלים. *אקולוגיה וסביבה*; 4(1); 50-56. <https://magazine.isees.org.il/wp-content/uploads/2021/10/896.pdf>

⁵⁴ EEA (2022). Economic losses from climate-related extremes in Europe. <https://www.eea.europa.eu/ims/economic-losses-from-climate-related>

⁵⁵ Scope (2021). Extreme climate events in Europe: rising economic losses can lead to greater sovereign ratings divergence. https://www.scopegroup.com/dam/jcr:eb50a1cd-7bcd-46db-a2fe-80fa9b1d76da/Scope%20Ratings_Extreme%20Climate%20Events_2021%20Nov.pdf

והן תוספת של גלי חום. חשוב להדגיש שאין הגדרה בין-לאומית רשמית לגל חום. ה-IPCC מגדיר גל חום כ'תקופה של מזג אוויר חם בצורה חריגה'. אפיון גלי חום יכול לכלול התייחסות לטמפרטורות מינימום, מקסימום וממוצעות, לחות או שילוב ביניהם. להלן כמה דוגמאות להגדרות – על פי השירות המטאורולוגי ההולנדי מדובר על לפחות 5 ימים עם טמפרטורת מקסימום של מעל 25 מ"צ, כאשר מתוכם לפחות 3 ימים עם טמפרטורה מעל 30 מ"צ; השירות המטאורולוגי בארה"ב מתייחס ליומיים לפחות עם אינדקס חום יומי של מעל 40.6 מ"צ; בדאלאס מגדירים 3 ימים עוקבים עם טמפרטורה מעל 37.8 מ"צ; ואילו במלבורן מגדירים 3 ימים עוקבים עם טמפרטורה מעל 35 מ"צ; הגדרה נוספת התייחסה לחריגה מהאחוזון ה-90 של הטמפרטורות המקסימליות במשך 3 ימים רצופים לפחות⁵⁶.

אחת האסטרטגיות להתמודדות עם אי-הוודאות בתרחישי האקלים, היא לייחס את השינוי או ההשפעה לטווח של שנים ולא לשנה בודדת, כך למשל תרחישי ה-IPCC מתייחסים לסוף המאה כטווח השנים 2081-2100 ולאמצע המאה כטווח השנים 2045-2065. מחקר זה בוחן את ההשפעות על כלכלת תל אביב-יפו בשנת 2050, בדומה למחקרים רבים שעוסקים בהערכת נזקים ומתייחסים להשפעות באמצע המאה שכן שנים אלו מגלמות איזון טוב בין איכות התחזיות וחוסר הוודאות. לגבי שנים קרובות יותר, לא פעם השינויים הם מינוריים, אין פערים בין תרחישים שונים וגם אין אפשרות אמיתית לשנות באופן מהותי את פני הדברים – התהליכים שהתרחשו עד עכשיו קובעים במידה רבה את המצב עד לאמצע המאה, ואילו פעולות שינקטו בעשורים הקרובים הן בעלות פוטנציאל השפעה אמיתי על השנים לאחר אמצע המאה. עם זאת, חשוב להדגיש כי ההגדרה 'אמצע המאה' או 'שנות ה-2050' מתייחסת במחקרים לטווחים שונים, לדוגמא, 2040-2070 / 2041-2060 / 2035-2064 / 2050-2060, ועוד.

⁵⁶ García-León, D., Casanueva, A., Standardi, G., Burgstall, A., Flouris, A. D., & Nybo, L. (2021). Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe. *Nature communications*, 12(1), 1-10.
<https://www.nature.com/articles/s41467-021-26050-z.pdf>

סקירת סוגי מחקרים קודמים

מחקרים בתחום שואפים לסייע בהערכת החשיבות היחסית של סיכוני אקלים שונים, ולהשוות השפעות ישירות ועקיפות בתוך ובין סקטורים. ישנם ניתוחים הבוחנים פרספקטיבה מסוימת, אך מרבית הניתוחים שואפים להתייחס לתועלות והעלויות המשמעותיות אשר משפיעות על הרווחה ואיכות החיים של האוכלוסייה, וכוללים השפעות סביבתיות, תרבותיות, בריאותיות, ונושאי רווחה, צדק וביטחון, וגם השפעות שאין להן מחירי שוק.

עבודה זו סקרה עשרות מקורות מידע שבוחנים את הסוגיה מנקודות מבט שונות – הסתכלות **גלובלית**, למשל במחקרי הפורום הכלכלי העולמי; בחינה **אזורית** (השוואה בין יבשות ובתוכן) – מחקרים של הבנק העולמי, סוכנות הסביבה האירופית (EEA), מרכז המחקר של האיחוד האירופי (JRC), איגוד מכוני מחקר אירופאיים (COACC); בחינה **מדינתית**, הן באופן עולמי, אם לפי מדינות (Lancet Countdown) ואם לפי קטגוריות של מדינות לפי רמות ההכנסה שלהן (הבנק העולמי), והן בחינה מקומית (UK's Climate Change Risk Assessment); התמקדות **עירונית** באופן רחבי, אזורי או ממוקד, למשל במחקרי ארגון ה-40, UCCRN, ECOM Australia, Boston; בחינה **נושאת** כגון בתחום הבריאות (למשל, WHO), הפירון; וכן בחינה של מקורות מידע מישראל שעסקו בתחום, כגון, בנק ישראל, משרד הבריאות, משרד הבינוי והשיכון, עבודות שביצעה עיריית תל אביב-יפו ועוד. בנוסף, נסקרו עשרות מאמרים אקדמיים בתחום.

ה-IPCC מתייחס במחקריו הן להיבט הגלובלי, הן להיבט האזורי והן להיבט העירוני. פרק הערים והתשתיות בדו"ח ההערכה השישי⁵⁷ מתייחס לנזקים הנובעים מאירועים בודדים, מורכבים, מדורגים ומערכתיים – אירועים בודדים כוללים, למשל, את ההשפעה הישירה של לחץ חום על בריאות האדם; אובדנים מאירועים מורכבים נובעים מאינטראקציה של סיכוני אקלים בודדים עם לפחות עוד סיכון אחר כגון חום עם איכות אוויר ירודה (למשל, פליטות מתחבורה או שריפות); השפעות מדורגות נצפות כאשר נזקים במקום אחד או במערכת מפחיתים את החוסן ויוצרים השפעות במקומות אחרים (למשל, כאשר מי שיטפונות פוגעים בתשתיות אנרגיה וגורמים להפסקות חשמל אשר משפיעות על הכלכלה ועל האוכלוסייה); נזקים הופכים למערכתיים כאשר הם משפיעים על מערכות שלמות ויכולים אפילו לעבור ממערכת אחת לאחרת (למשל, בצורת המשפיעה על ייצור מזון באזור כפרי, תורמת לחוסר ביטחון תזונתי עירוני). המסקנה הגלובלית היא שהתחממות כדור הארץ ב-2 מ"צ תשית סיכונים גדולים יותר לאזורים עירוניים מאשר התחממות כדור הארץ ב-1.5 מ"צ. כאשר ההשפעות מוגדרות איכותנית, הן על פי איכות הראיות, והן בהתאם לסבירות שהם יקרו (גבוהה, בינונית ונמוכה).

המחקר על השפעות האקלים הינו בראשיתו והמידע עדיין חסר. מתוך ערוצי השפעה רבים, רק לגבי חלקם יש הערכות כמותיות, ומכאן שבהכרח התוצאה לוקה בהערכת חסר. הערכה למדינות ספציפיות תלויה במאפיינים כמו מבנה המשק, הסתמכות על תיירות והאקלים הנוכחי. מנגד, הערכה הוליסטית של מספר רחב של מדינות מאפשרת ראייה הוליסטית שמשקללת משתנים של ביקוש חוצה גבולות, מחירים ומשתנים בשוק הפיננסי.

גישות להערכת נזקים כלכליים הנובעים משינויי אקלים מתחלקות בדרך כלל לאחת משלוש קטגוריות⁵⁸:

- מודלים משולבים להערכה (Integrated Assessment Models - IAMs) היו הראשונים לחקור את הקשר בין שינויי האקלים ונזק כלכלי, והיוו את הבסיס להערכת הסיכונים של ה-IPCC משנת 2014 (דו"ח ההערכה החמישי)⁵⁹. מודלים אלו מתחילים מתרחישי פליטות ומקשרים זאת להשפעות מאקר-כלכליות באמצעות שימוש בפונקציית נזק (damage function) – פונקציה לתועלת או לרווחת החברה, ופונקציה המייצגת עלויות הפחתת הפליטות. מודלים אלו העריכו את הפגיעה בתמ"ג העולמי בטווח של 10%-2 ב-2100. הביקורות עליהם סבבה סביב הקישור בין הטמפרטורה להשפעה על התמ"ג וכן לשיעור ההיוון המשמש במודלים. מודלים אלו גם השמיטו

⁵⁷ IPCC WGII Sixth Assessment Report (2022). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

⁵⁸ Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

⁵⁹ IPCC Fifth Assessment Report (2014). <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

חלקים חשובים בפאזל כגון השינויים בתדירות ובחומרה של אירועי קיצון, הגירה וקונפליקטים, הון טבעי ושווקים פיננסיים. כל אלה הובילו להערכות חסר.

- מודלים חדשים יותר (panel data methods), המבקשים לטפל בחסרונות ה-IAMs, משתמשים בסדרות זמן קצרות יותר, כדי להעריך את צמיחת התמ"ג כפונקציה של שינויים בטמפרטורה השנתית. מודלים אלו מעריכים פגיעה רחבה יותר מקודמיהם.
- ניתוח מלמטה למעלה (bottom-up), ניתוח המבוסס על מקרי חקר, מצביע לרוב על הרחבת הפעילויות אשר בסיכון. סקירת שטרן משנת 2006 הייתה אחד המחקרים הראשונים שסקרו באופן מקיף את ההשפעה משינויי האקלים על מספר ערוצי צמיחה ופיתוח. הסקירה ניתחה השפעות על חלוקת מים, תפוקות יבולים, חוסר ביטחון תזונתי, השפעות בריאותיות מתת תזונה, מתח חום ומחלות הנגרמות על ידי וקטורים. היא השתמשה ב-IAM כדי לכמת את ההשפעה המצרפית והגיעה למסקנה, שבהתאם להיקף של תהליכי המשוב של מערכת האקלים, וכולל נזקים שאינם שוקיים, התחממות כדור הארץ תוביל לאובדן ממוצע משוער של בין 5.3% ל-13.8% מהתמ"ג העולמי לנפש בשנת 2200.

כדי להתמודד עם חוסר הוודאות הכרוך בהערכת נזקים כלכליים הנובעים משינויי אקלים, ולייצג את הגדלת החומרה של תוצאות פוטנציאליות מהיבטים שהמידע לגביהם אינו שלם או אינו קיים כלל, מחקרים נוקטים אסטרטגיות שונות, למשל, הוספת תרחישים המחילים גורמים מכפילים של פי חמש (עבור תרחיש בינוני) ופי עשר (עבור תוצאות חמורות) על ההשפעה הכלכלית המצטברת (הידועה) מהסיכונים הפיזיים⁶⁰ או הוספת מבחני רגישות לפרמטרים מרכזיים^{61 62}.

⁶⁰ Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

⁶¹ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

⁶² משרד הבריאות, מכללת תל חי, משרד הבינוי והשיכון (2019). ניתוח עלות-תועלת של הצללה בישראל. https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/research_1079

מתודולוגיית המחקר

המחקר בוחן תוצאות כלכליות אפשריות לעיר תל אביב-יפו, על רבדיה ומשתמשיה השונים ולעירייה, בשל סיכונים פיזיים בהתאם למגמות שינויי האקלים המתמשכות וההדרגתיות (סיכונים כרוניים) ומעריך את החשיפה המקומית לשינויים אלו וגם לאירועי מזג אוויר קיצוניים (סיכונים חריפים). המחקר בוחן השפעות כלכליות של ימים חמים באופן קיצוני, גלי חום, ובמידת האפשר, גם את תרומת תופעת אי החום העירוני להשפעות אלו, בהנחה שלא ייושמו אמצעי מיטיגציה ואדפטציה. המחקר מתייחס להשפעות תחת שני תרחישים של שינויי אקלים – RCP4.5 ו-RCP8.5 באמצע המאה, וכן להיבטים חברתיים כגון, גידול צפוי באוכלוסייה, התייחסות למקבצי גיל שונים, לייחודיות של אוכלוסיות פגיעות במיוחד, ועוד. המחקר מתמקד בהשפעות על העיר תל אביב-יפו על אף ההכרה כי השפעות החום המקומי יכולות ליצור השפעות כלכליות גם מעבר לאזור המחקר.

בפרקים הבאים בסקירה יתוארו במפורט ההשפעות הצפויות כפי שהן עולות מהספרות, ומדדים אפשריים לכימותן. **תחילה יפורטו השפעות בתחומים קונקרטיים – בריאות ורווחה, אנרגיה, פיתוח כלכלי ואקולוגיה, בהתאם לגישה המכונה bottom-up. לאחר מכן תודגם גישה נוספת – top-down – אשר מכמתת את הנזקים כשיעור מהתמ"ג.**

הכימות הכלכלי מתבסס על פרמטרים מאקרו-כלכליים ורמת מחירים של שנת המחקר (במקרה זה 2021). עם זאת, בוצעה התאמה לגידול החזוי באוכלוסייה לשנת 2050 כאשר יתר המשתנים נותרו קבועים – לא נלקחו בחשבון התפתחויות טכנולוגיות עתידיות.

בשל חוסר האחידות בנתונים, השונות הגבוהה של תוצאות המחקרים השונים והמגבלות האחרות, מיצינו מתוך סקירת הספרות מערך פרמטרים המתאים לתרחישים שנבחנו ולשנת היעד 2050, עבור כל היבט של התחממות האקלים שנמצא עבורו מידע. לאחר מכן, בוצעה במידת האפשר, אקסטרפולציה של הנתונים לתנאי המשק העירוני בתל אביב-יפו.

ההשפעות הכלכליות של שינויי האקלים סווגו לשלוש קטגוריות:

- השפעות "ידועות-ידועות" – השפעות שלגביהן ישנו בסיס מחקרי מוצק המכמת את השפעת ההתחממות וגם האמידה הכלכלית הינה ידועה ומהימנה. בפרמטרים שנבחנו על ידינו מצב זה מתקיים בנייתוח top-down הבוחן את השפעת ההתחממות על התמ"ג ובניתוח bottom-up כאשר בוחנים את השפעת ההתחממות על שיעור התמותה והתחלואה, עלויות האנרגיה ופליטות המזהמים.
- השפעות "ידועות-לא ידועות" – השפעות שלגביהן ישנו בסיס מחקרי מוצק המכמת את השפעת ההתחממות אך האמידה הכלכלית אינה ידועה או אינה מהימנה. בפרמטרים שנבחנו על ידינו לצורך התחשיב מצב זה אינו מתקיים.
- השפעות "לא ידועות-לא ידועות" – השפעות לגביהן לא קיים בסיס מחקרי מוצק המכמת את השפעת ההתחממות וגם לא קיימת אמידה כלכלית ידועה ומהימנה. מצב זה מתקיים בפרמטרים הנוגעים להתנהגות אנטי-סוציאלית, השפעה על חינוך, תרבות וספורט, פגיעה במרקם העירוני ועוד.

טבלה 2 מסכמת את רמת הביסוס המחקרי של ההשפעות השונות שהתבקשו לבחון.

טבלה 2: רמת הביסוס המחקרי של ההשפעות השונות

קטגוריה	היבט לבחינת השפעת ההתחממות	כימות	אמידה כלכלית
TOP DOWN	ההשפעה על התמ"ג	5	5
BOTTOM UP			
בריאות ורווחה	גידול הסיכון לתמותה	5	5
	גידול הסיכון לתחלואה	5	4
	התנהגות אנטי סוציאלית	2	1
אנרגיה	השפעה על חיבור, תרבות וספורט	0	0
	גידול בעלויות האנרגיה	5	5
	גידול בפליטת מזהמים	5	5
פיחוח כלכלי	השפעה על פריץ העבודה	5	5
	גידול בביקושים למים	2	3
	פגיעה בהיקפי תיירות פנים וחוץ	2	2
	השפעה על תשתיות	2	1
	ירידה בביקושים לשטחי רחוב	0	0
אקולוגיה	פגיעה במרקם העירוני הייחודי	1	0
	חכסית ושירותי מערכת אקולוגית	1	1

השפעות "ידועות-ידועות" למעלה מ-90% מהמקרים הנמדדים בספרות

השפעות "לא ידועות-לא ידועות"

אין בסיס מחקרי

בסיס מחקרי מוצק

5 4 3 2 1 0

הציון הממוצע

כאמור, כימות כלכלי ניתן לבצע באופן מהימן אך ורק במצב של השפעות "ידועות-ידועות", וכך בוצע במחקר זה.

לצורך תחשיב זה האמידה בוצעה על פי מחירי שוק בתחומים כמו עלויות האנרגיה, ולפי אמידת עלויות חיצוניות כמו בתחומי התמותה והתחלואה. בשני המקרים הניתוח הינו ראשוני וסכמטי, ומתבסס על מחקר קיים ויכולת ההתאמה לנתוני העיר, כך שאין לראות בכימות כלכלי זה את מלוא ההשפעה הכלכלית על תועלת ורווחת החברה, אך הוא מהווה עוגן כלכלי אשר ניתן להסתמך עליו לצורכי קביעת מדיניות, סדרי עדיפויות וקבלת החלטות.

השפעות שינויי האקלים

מגמת ההתחממות העולמית והעלייה בתכיפות הופעתם של אירועי הקיצון אינה מוטלת עוד בספק, עם זאת, העלות העתידית של שינויים אלה אינה תלויה רק בתדירות וחומרת האירועים אלא גם בגודל האוכלוסייה ובערכים של הנכסים החשופים לנזק.⁶³ להלן נציג מספר דוגמאות להיבטים המרכזיים שבהם מתמקדים מחקרים אשר בוחנים את השפעות שינויי האקלים. יש להדגיש שלרוב מדובר על היבטים שהנזקים לגביהם **כומתו**, ובהתאם להיקף הנזקים שנאמדו, **ואין מדובר על דירוג ערכי של ההשפעות השונות**. כך למשל, הנושא של עלייה בתמותה כתוצאה מטמפרטורה קיצונית מהווה במחקרים רבים את מרבית ההשפעה הכלכלית, בעוד שהסוגיה של פגיעה אקולוגית, שהינה בעלת פוטנציאל נזק נרחב, הן על הטבע והן על האדם, לרוב אינה מקבלת ביטוי בערכים כספיים.

מרכז המחקר של האיחוד האירופי (JRC) מבצע מחקר מתמשך לצורך הבנת השפעות שינויי האקלים באירופה (שינוי בטמפרטורה ממוצעת, שינוי במשקעים, עליית פני הים) ומפרסם דו"ח כל מספר שנים, כאשר גם המתודולוגיה וגם ההיבטים הנבחרים משתנים עם הזמן בהתאם לידע שנצבר. המחקר מאמץ פרספקטיבה bottom-up שמסייעת בתיעודן אסטרטגיות הסתגלות. המחקר מאופיין במתודולוגיה מורכבת שכן הוא בוחן תרחישי אקלים מרובים וכן תרחישים חברתיים-כלכליים סטטיים ודינמיים. במחקר משנת 2014,⁶⁴ ההיבטים שנבחנו היו – **בריאות** (אובדן שעות עבודה כתוצאה מתחלואה ותמותה), הוצאות שירותי בריאות כתוצאה מתחלואה, שינוי בפריון עבודה בסקטור החקלאות והבנייה כתוצאה מטמפרטורות חמות יותר, ואובדן רווחה כתוצאה מתמותה); **אזורי חוף**; **תשתיות תחבורה** (בעיקר בהקשר של הצפות); **תיירות** (שינויים ביעדים והוצאות תיירות); **הצפות נהרות**; **שריפות יער**; **חקלאות**; **ואנרגיה** (שינויים בצריכת אנרגיה לחימום וקירור בסקטור המגורים והשירותים). במחקר משנת 2018,⁶⁵ ניתן ביטוי גם לנושא של **משאבי מים** (זמינות מים אך לא שינוי בביקוש למים) וכן **לאובדן בתי גידול**. במחקר משנת 2020,⁶⁶ נושא התיירות לא מקבל ביטוי. המודל הכלכלי של המחקר כולל רק את ההשפעות שסווגו כידועות-ידועות, אך במחקר מדגישים שיש גם השפעות שהן ידועות-לא ידועות, כלומר ידוע שההשפעות קיימות אך ההשפעה הכלכלית אינה ידועה (כמו אובדן שירותי מערכת אקולוגית), וגם השפעות שמסווגות כלא ידועות-לא ידועות – או שהתופעה האקלימית לא נלקחה בחשבון או שהקשר בין התופעה לכלכלה לא ידוע.

מחקר מקיף שבחן 48 מדינות המייצגות 90% מהכלכלה העולמית⁶⁷ שקלל את הסיכונים הבאים – **פריון חקלאי** (למשל, יותר בצורת); **בריאות האדם** – תחלואה ותמותה מחום וקור, מחלות הנגרמות על ידי וקטורים (מלריה, דנג'י), שלשולים; **פריון העבודה** – הפסקות תכופות יותר, הפרעות, מהירות נמוכה יותר והסתברות גבוהה יותר לפגיעה שנגרמות מטמפרטורה ולחות גבוהות (משפיע יותר על חקלאות ותעשייה ופחות על מגזר השירותים); **עליית פני הים** והסיכון המוגבר להצפות אזורי פעילות כלכלית; **זרמי תיירות** – אזורים חמים יהפכו לפחות אטרקטיביים כיעדי תיירות, ובכך יושפע גם הייצוא למדינות התלויות בתיירות; ביקוש של משקי הבית **לאנרגיה** – הפחתת הביקוש לדלקים לחימום והגדלת הביקוש למיזוג, אשר ישפיעו גם על מחירי האנרגיה וההשקעות בתחום; **הפרעות לשרשראות אספקה עולמיות ומסחר**; **הגירה**; **ומגוון ביולוגי**.

⁶³ EEA (2022). Economic losses from climate-related extremes in Europe. <https://www.eea.europa.eu/ims/economic-losses-from-climate-related>

⁶⁴ Ciscar, J. C., Feyen, L., Soria, A., Lavalle, C., Raes, F., Perry, M., ... & Ibarreta, D. (2014). Climate impacts in Europe-The JRC PESETA II project. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC87011>

⁶⁵ Ciscar, J. C., Feyen, L., Ibarreta, D., & Soria, A. (2018). Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project. *Publications Office of the European Union*, JRC Science for Policy Report EUR, 29427. https://www.preventionweb.net/files/61911_pesetaiiiifinalreport.pdf

⁶⁶ Szewczyk, W., Feyen, L., Matej, A., Ciscar, J. C., Mulholland, E., & Soria, A. (2020). Economic analysis of selected climate impacts. JRC PESETA IV project–Task 14 (No. JRC120452). Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC120452>

⁶⁷ Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

פרויקט המחקר COACCH מתכלל 11 השפעות לשינויי האקלים⁶⁸ – השפעות על **חקלאות, ייעור, דיג, מפלס פני הים, הצפות נהרות, תחבורה** (השפעה של הצפות על תחבורה), היצע וביקוש של **אנרגיה, פריון עבודה, מערכות אקולוגיות ובריאות**.

מחקר בארה"ב⁶⁹ שהעריך את השפעות שינויי האקלים לעלייה של עד 4 מ"צ בסקטורים שונים, מצא כי הסקטורים עם הנזק הגבוה ביותר הם **נכסים חופיים, פריון, ומוות כתוצאה מחום קיצוני**, אך עם שונות גדולה מאוד בין אזורים שונים בארה"ב. היבטים של ניקוז עירוני, היצע וביקוש לחשמל, איכות מים, רכבות, גשרים, דגי מים מתוקים, וירוס הנילוס המערבי, תיירות חורף, פריחת אצות מזיקה, היצע מים עירוני ותעשייתי, ואלרגניים באוויר הניבו ערכי נזק נמוכים.

מחקר מקיף שבוצע באנגליה⁷⁰ שקלל סיכונים אקלים שונים ומגוונים (לא רק חום) ואף בחן השפעות הדדיות בין סיכונים. בין הסיכונים שנבחנו – איום על **קיבוע פחמן**, איום **לתשתיות**, איום על **הבריאות ואיכות החיים** מטמפרטורה גבוהה, **סיכונים פיננסיים וסיכונים ביטוח**, איום על **הספקת המים** לסקטור המגורים והסקטור המסחרי. עם זאת, מרבית הניתוח הוא איכותני, ובחינה כספית בוצעה רק לחלק מההיבטים, ובה נמצא כי האיום המרכזי (מבחינה כספית) נובע מהצפות (של עסקים, חופים, נהרות), ולאחריו מוות כתוצאה מחום. היבטים אחרים שכומתו – השפעות של סופות, השפעות לתשתיות קריטיות, השפעות על דיג ועל פריחת אצות.

עבודה מקיפה שבוצעה בבוסטון לשיפור המוכנות האקלימית של העיר⁷¹ בחנה סיכונים **למבנים, תשתיות, כלכלה, אוכלוסייה בכלל ואוכלוסיות רגישות בפרט**, ומצא שבמקרה של חום קיצוני לא ניתן לבצע הערכה מפורטת של הסיכונים לתשתיות ולכלכלה בשל מגבלות נתונים. ההערכה מתמקדת בכימות העלייה בתמותה, וניתוח איכותי של ההשלכות הנוספות, כולל עלייה בתחלואה, עלייה בשימוש באנרגיה, והשפעות סביבתיות. לעניין הצפות הוצגו בעבודה נזקים שנתיים צפויים בהתאם לתרחישים שונים של עליית מפלס הים. הנזקים חושבו על ידי הכפלה של עלויות הנזק הפוטנציאלי בהסתברות להתרחשות תוצאות האירוע. המחקר מדגים שאירועים קטנים עם הסתברות גבוהה עלולים להשית עלויות גבוהות יותר לאורך זמן מאשר אירועים גדולים עם הסתברות נמוכה.

בעבודה שהעריכה את הנזק הכלכלי לעיר מלבורן שבאוסטרליה⁷², נמצא כי מזג האוויר המתחמם בעיר, ובמיוחד העלייה בתכיפות ובעוצמה של גלי חום, צפויים להשפיע על **הבריאות, התחבורה, התשתיות והביקוש לאנרגיה**, על **הצומח ובע"ח**, ועל **הפשיעה**. מרבית ההשפעות הכלכליות (86%) הן כתוצאה ממקרי מוות הקשורים לחום. נושא התחבורה מכומת כעיכוב בזמני נסיעה ברכבת (כ-0.5% מכלל ההשפעות). העלות הכלכלית של העלייה בביקוש לאנרגיה בעקבות תנאים חמים יותר ותקלות ברשת החשמל – מהווים כ-6% מההשפעות, עלייה בפשיעה מהווה כ-5%, ותוספת השקיה ותמותת עצים מהווים כ-2% נוספים. מתוך סך ההשפעות כ-27% מההשפעות הן כתוצאה מגלי חום, והשאר מימים בודדים עם טמפרטורה גבוהה. מתוך סך השפעות החום, תרומת תופעת אי החום העירוני נאמדת בכשישית מסך הנזק. המחקר מדגיש שיש מגוון של השפעות שלא ניתן לכמת, למשל פגיעה באיכות החיים (well-being). ניתוח רגישות שבוצע במחקר מעלה שהתוצאות די רגישות להנחות הבסיס.

מתוך הסקירה לעיל, מחקר זה יתמקד בהיבטים שקשורים באופן ישיר לחום (ולא להשפעות אחרות של שינויי האקלים כגון הצפות או שריפות), שהינם רלוונטיים לעיר תל אביב-יפו, כפי שיפורטו להלן.

⁶⁸ COACCH (CO-designing the Assessment of Climate CHange costs). <https://www.coacch.eu/>

⁶⁹ Neumann, J. E., Willwerth, J., Martinich, J., McFarland, J., Sarofim, M. C., & Yohe, G. (2020). Climate damage functions for estimating the economic impacts of climate change in the United States. Review of environmental economics and policy. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7147821/>

⁷⁰ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

⁷¹ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

⁷² AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

היבטי בריאות ורווחה

ארגון הבריאות העולמי רואה בשינויי האקלים את הסיכון המשמעותי ביותר לבריאות הציבור⁷³. כמו כן, נמצא כי אירופה ואגן הים התיכון במיוחד הם האזורים הפגיעים ביותר להתחממות בשל האוכלוסייה המזדקנת, שיעורי העיור הגבוהים והשכיחות הגבוהה של מחלות לב וכלי דם, נשימה וסוכרת⁷⁴. כאשר תרחיש התחממות מחמיר עשוי להגדיל את מספר המתים כתוצאה מחום פי 4 עד סוף המאה ביחס לתרחיש פליטות נמוך⁷⁵.

השפעות שינויי האקלים על הבריאות

שינויי האקלים, הכוללים התחממות ואירועי אקלים קיצוני כגון גלי חום, הינם בעלי השפעות ישירות על בריאות הציבור, במיוחד בקרב אוכלוסיות פגיעות, כגון קשישים (שהפגיעות שלהם נובעת משילוב של תגובה פיזיולוגית לקויה לחום, ושכיחות גבוהה יותר של מחלות כרוניות המערבות לב וכלי דם, מערכת נשימה, כליות ומערכת אנדוקרינית), אך גם בקרב קבוצות אשר אינן יכולות להימנע או להפחית את החשיפה לסיכונים החום. בנוסף, שינויי האקלים גורמים לשינויים במערכות אקולוגיות, המובילים להשפעות עקיפות על הבריאות. בין השפעות הקשורות לנושא החום ניתן לציין^{76 77 78} (ראו גם איור 2):

- **השפעות ישירות:** השפעות פיזיולוגיות של טמפרטורה גבוהה – עלייה בתמותה ובתחלואה ממכת חום, שבץ, פגיעה בכליות ובתפקוד לב, כלי דם ודרכי נשימה; והשפעות נפשיות – עלייה בחרדה ובדיכאון. ככל שהטמפרטורות הממוצעות עולות והתדירות, משך הזמן ועוצמת גלי החום עולים, גם שיעורי התמותה מהחום יעלו⁷⁹. באיחוד האירופי ההערכה היא כי 40-50% ממקרי המוות כתוצאה מחום נגרמים מגלי חום⁸⁰. לחום יש השפעה ישירה על תמותה מכל סיבה, כאשר שיא התמותה מתרחש באותו יום או זמן קצר לאחר החשיפה לחום. באזורים עירוניים, סביבת המגורים עשויה להוות גורם סיכון משמעותי לחשיפה קטלנית לחום במהלך גלי חום – לדוגמא, 80% מהתמותה ממכת חום (heat stroke) בניו-יורק מיוחסת לחשיפה בבתים. תמותה ותחלואה הקשורות לחום הינן תלויות מקום, כאשר בכל מקום טמפרטורת הסף תהיה תלויה בטמפרטורה ממוצעת נורמלית – מחקר אחד מצא שהסף יכול לנוע בטווח שבין 16-31 מ"צ. בנוסף, יש קונצנזוס שההשפעות הבריאותיות של חשיפה לחום אינן לינאריות⁸¹.

⁷³ <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

⁷⁴ EEA (2020). Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe. <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives>

⁷⁵ COACCH (2021). The Economic Cost of Climate Change in Europe: Synthesis Report on Interim Results. Policy brief by the COACCH project. Editors: Paul Watkiss, Jenny Troeltzsch, Katriona McGlade, Michelle Watkiss. <https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2018/03/COACCH-policy-brief-2-Sector-results-amended.pdf>

⁷⁶ ברמן, ט., וקריגל, ק. (2020). שינויי אקלים ובריאות הציבור: סקירת ספרות, מיפוי מדדי בריאות והמלצות לפעולה לקראת תוכנית עבודה של משרד הבריאות.

https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/climate_change_and_public_health_2020

⁷⁷ הקרן לבריאות וסביבה ומשרד הבריאות (2020). בריאות וסביבה בישראל 2020.

https://www.gov.il/BlobFolder/reports/health-and-environment-in-israel-2020/he/files_publications_environment_health-and-environment-in-israel-2020.pdf

⁷⁸ IPCC Fourth Assessment Report (2007). Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group 2, Intergovernmental Panel on Climate Change Staff. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>

⁷⁹ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

⁸⁰ COACCH (2021). The Economic Cost of Climate Change in Europe: Synthesis Report on Interim Results. Policy brief by the COACCH project. Editors: Paul Watkiss, Jenny Troeltzsch, Katriona McGlade, Michelle Watkiss. <https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2018/03/COACCH-policy-brief-2-Sector-results-amended.pdf>

⁸¹ UCCRN (2018). Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., and Ali Ibrahim, S. (eds.), Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. Cambridge University Press. New York. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

- השפעות עקיפות:** הדבקות במחלות זיהומיות המועברות על ידי וקטורים – שינויי האקלים משפיעים על זמינותם, נוכחותם והתנהגותם של וקטורים שונים מחוללי מחלות מדבקות (כדוגמת יתוש הטיגריס האסייני, העלול להעביר את נגיפי הדנגה והצ'יקונגוניה); שינויים ברמת הקרינה האולטרה סגולה (קיים קשר בין שינויי האקלים ועליית הטמפרטורות ובין פיחות שכבת האוזון בסטרטוספירה), משפיעים על הופעת מחלות כגון סרטן וקטראקט; פגיעות פיזיות הנובעות מתנאי אקלים קיצוני (תאונות דרכים ושריפות); שינויים בזמינות המים, בכמויות המזון והרכבו ושינויים באיכות האוויר – למשל, שינויים במשטר המשקעים או אירועי חום וקור קיצוניים עלולים לגרום לפגיעה חמורה בתוצרת החקלאית (חי וצומח), ואף להגביר את הסיכון לקלקול מזון עקב שגשוג חיידקים ופטריית, ולפגיעה בביטחון התזונתי. פריחה מוקדמת ועונת פריחה ארוכה יותר הנובעות מטמפרטורות גבוהות יגרמו להחמרה במצבם של אנשים הסובלים מאלרגיה; ושינויים בדפוסי מזג האוויר עשויים להשפיע על היווצרות מזהמים (חלקיקים, אוזון בגובה פני הקרקע) ועל תנועתם ולשנות את חשיפת האוכלוסייה אליהם. ההשפעות העקיפות מגדילות את אי-השוויון הבריאותי והחברתי כתוצאה למשל מעליית מחירי מזון, וכן כוללות תגובות חברתיות, כמו אלימות במרחב הציבורי והפרטי והגירת אקלים.



איור 2: השפעות שינויי האקלים על הבריאות וגורמים המעלים את הפגיעות⁸²

הוועדה לחירום ובריאות שהוקמה במנהלת היערכות לשינויי אקלים מצאה כי האיומים הגדולים ביותר על בריאות האדם הם תחלואה עקב עומס חום, החמרה של מחלות כרוניות, פגיעה בביטחון התזונתי והפצת מחלות זיהומיות על ידי וקטורים.

אוכלוסיות פגיעות

הנזק שנגרם כתוצאה משינויי האקלים תלוי במידה רבה במידת הפגיעות של האוכלוסיות השונות, להלן פירוט הגורמים השונים המעלים את הפגיעות:

- מצב כלכלי:** מצב כלכלי מהווה איום משמעותי והוא מתבטא בהיבטים שונים – בשנת 2013 כ-2.1 מיליון איש (41% מבני ה-20 ומעלה) ויתרו על חימום או קירור מספיק של ביתם על רקע מצבם הכלכלי, וכ-1.2 מיליון איש (24%) פיגרו בתשלומי החשבונות החודשיים למוצרים בסיסיים כולל חשמל⁸³. מבחינת יעילותם האנרגטית של הדירות והבניינים אומנם לא נערך מיפוי מסודר, אך מוערך כי לכל הפחות, כ-2 מיליון דירות שנבנו עד לשנות ה-80 של המאה הקודמת הן בעלות יעילות אנרגטית נמוכה⁸⁴. בנוסף, עבודות רבות שבהן עוסקים אנשים במצב סוציו-אקונומי נמוך חושפות אותם לפגעי מזג האוויר. כמו כן, נמצא קשר בין אלימות במרחב הציבורי לגלי חום, בעיקר בשכונות עוני⁸⁵.

⁸² ברמן, ט., וקריגל, ק. (2020). שינויי אקלים ובריאות הציבור: סקירת ספרות, מיפוי מדדי בריאות והמלצות לפעולה לקראת תוכנית עבודה של משרד הבריאות.

https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/climate_change_and_public_health_2020

⁸³ הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. (2013). הסקר החברתי 2013.

https://old.cbs.gov.il/webpub/pub/text_page.html?publ=6&CYear=2013&CMonth=1

⁸⁴ https://www.gov.il/he/Departments/publications/reports/vulnerable_populations

⁸⁵ https://www.nber.org/system/files/working_papers/w25961/w25961.pdf

- **גיל:** בסוף שנת 2019 חיו בישראל מיליון ו-93 אלף תושבים בני 65 ומעלה, שהם 12% מתושבי המדינה, ועל פי תחזיות האוכלוסייה, עד שנת 2040 יעלה חלקם ל-14.2%, והם ימנו כ-2 מיליון איש⁸⁶. אוכלוסיית האזרחים הוותיקים מאופיינת ברמת הכנסה נמוכה ביחס לאוכלוסייה, הנובעת משיעור השתתפות נמוך בשוק העבודה וירידה בתפקוד הבריאותי. אזרחים ותיקים פגיעים יותר פיזית ונפשית לזעזועים ולאירועי אקלים קיצוניים הן בשל מצבם הפיזי כגורם סיכון, הן בשל שיעורי העוני הגבוהים בקרבם, זאת נוסף על בידוד חברתי שממנו חלקם סובלים. גם ילדים ובעיקר ילדי הגיל הרך פגיעים יותר, כי המערכת החיסונית שלהם רגישה יותר^{87, 88}, הם מוגבלים בתנועתם והמודעות שלהם לסיכונים נמוכה יותר.
- **מצב בריאותי:** אנשים עם מוגבלות וחולים במחלות כרוניות פגיעים יותר לתנאי אקלים קיצוניים בשל מגבלות ניידות – הן בעת פינוי והן בנגישות למרחבים מאוקלמים. חולים התלויים בציוד "תומך חיים", נתונים בסכנה מיידית בתנאי מזג אוויר קיצוניים, ובפרט במצבי השבתה של רשת החשמל.
- **מגדר:** נשים פגיעות יותר להשפעות הבריאותיות של שינויי האקלים. הן נוטות לבלות יותר מחוץ לבית עם הילדים ולהשתמש יותר בתחבורה ציבורית. גלי חום גם מגבירים את הסיכון של נשים לרעלת הריון. שיעור הנשים שחיות בעוני בישראל ובעולם (בייחוד נשים עצמאיות), גבוה בהשוואה לגברים, מה שמקשה עליהן להתמודד עם עוני אנרגטי. אירועי אקלים קיצוניים אף מגבירים את הסיכון לאלומות מגדרית. לאחר גלי חום נרשמה עלייה בשיעורי הפניות למרכזי חירום לטיפול באלימות⁸⁹.

מניתוח של מחקרים רבים⁹⁰ עולה כי מבין הגורמים הפנימיים (intrinsic) נמצא כי גיל הינו גורם הסיכון הקובע ביותר התורם לתמותה עודפת (מעל הרגילה) הקשורה לחום (RRR⁹¹ 1.3-3.7), כאשר רק מחקר אחד הצביע על RRR גבוה יותר בילדים בהשוואה לאוכלוסייה הכללית. כמו כן, לנשים סיכון גבוה יותר לתמותה מאשר לגברים (RRR 1-1.4), יתכן שזה תלוי גם בגורמים פיזיולוגיים אך נשים גם נחשפות יותר לחום בגלל עבודות שנעשות בבתים ללא אוורור מספיק או מיזוג אוויר (למשל, בישול). מבחינת מצב רפואי, הפגיעות לגלי חום גבוהה יותר אצל אנשים שהם פחות ניידים ומרותקים למיטה, האחרונים עם יחס סיכויים (OR)⁹² של 3-9. אנשים הסובלים ממחלות לב וכלי דם נמצאים גם בסיכון גבוה יחסית (OR 4.05) עבור כלל האוכלוסייה ועד 34.1 עבור קשישים). על פי מחקר נוסף⁹³ משתנים סוציו-אקונומיים מסבירים כ-70% מהשונות בפגיעות לגלי חום, בעוד שמשתנים סביבתיים (הטמפרטורה על פני הקרקע, מאפייני צמחייה ומאפייני בניין) מסבירים רק כ-12% מהשונות, כמו כן לא נמצא קשר סטטיסטי מובהק בשיעורי התמותה בשל צפיפות האוכלוסייה.

⁸⁶ [יום האזרח הוותיק הבין-לאומי 2020: מבחר נתונים על אזרחי ישראל הוותיקים בני 65 ומעלה](#). הודעה לעיתונות של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

⁸⁷ https://www.clalit.co.il/he/your_health/kids/baby/Pages/sun_exposure_of_babies.aspx

⁸⁸ <https://www.cancer.org.il/template/default.aspx?PageId=6752>

⁸⁹ ד"ר קרני קריגל (2021). אקלים מגדרי: נשים בחזית. [שפת רחוב - מגזין עירוני](#)

⁹⁰ UCCRN (2018). Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., and Ali Ibrahim, S. (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

⁹¹ When two groups were compared (e.g., the elderly with the overall population; or women and men), Relative Risk Ratios (RRR) are calculated from the difference of mortality risk between the two groups, given as ratio of the percentages of excess of mortality.

⁹² Odds Ratios (OR) are calculated as the risk of death among subjects as compared with those without the characteristic in question.

⁹³ Johnson, D. P., Stanforth, A., Lulla, V., & Luber, G. (2012). Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. *Applied Geography*, 35(1-2), 23-31.

שתי קטגוריות עיקריות משמשות לצורך כימות הנזק הכלכלי של תמותה ותחלואה^{94 95 96}:

- **עלות ישירה למערכת הבריאות** – כוללת את כל ההוצאות הישירות הקשורות בתחלואה. לדוגמה, טיפול באמבולנס, תקורות בתי חולים (חלק יחסי), רופאים ואחיות (פרטי וציבורי), תרופות, ניתוחים, מחקר ועוד.
- **ערך חיי אדם או ערך החיים הסטטיסטיים** (VSL – Value of Statistical Life / VPF – Value of a Prevented Fatality) **ושנות חיים מתואמות**⁹⁷ (DALY – Disability Adjusted Life Year) – אומדן שווי חיי האדם נעשה בעזרת סקרי נכונות לשלם (WTP – Willingness To Pay), הבדקים הנכונות לתשלום בעבור הורדת הסיכון מהשתתפות בתרחיש הכולל פגיעה בריאותית ו/או סכנת חיים, ומשקלל אלמנטים של כאב וסבל, דאגה ואי-נוחות למשפחה ואחרים (העדר תועלת). בנוסף, שנת חיים מתואמת נעה בין הערכים 0 ל-1, כך שבמידה והאדם בריא באופן מלא, שנה מחיי שווה לשנת חיים מתואמת. מחלה הפוגעת ב-50% מאיכות החיים של אדם למשך שנתיים גורעת ממנו שנת חיים מתואמת אחת. כיוון שכל תחלואה מגלמת בתוכה אובדן של שנות אדם מתואמות, נדרש חישוב המבצע מעבר בין ערך שווי חיים לערכה של שנת חיים מתואמת, ערך זה מוכפל בשנות החיים הנגרעות כתוצאה מהמחלה. עם זאת, השפעת התמותה של גל חום אינה ודאית במונחים של כמות החיים שאבדו, שכן חלק ממקרי המוות מתרחשים באנשים רגישים שהיו צפויים למות בעתיד הקרוב. יש לתת את הדעת על כך, שעל אף שהנושא של עלייה בתמותה כתוצאה מטמפרטורה קיצונית מהווה במחקרים רבים את מרבית ההשפעה הכלכלית כתוצאה משינויי האקלים, תוצאה זו תלויה במידה ניכרת בהנחות לגבי הערך הכספי של החיים⁹⁸.

השפעות שינויי האקלים על הבריאות – מחקרים מהעולם

מחקר שבוצע במלבורן, אוסטרליה⁹⁹, מצביע על עלייה של 10.8% בקבלת חולים שחוו התקף לב בימים שבהם הטמפרטורה עולה על 30 מ"צ, ועלייה של 37.7% בגלי חום קצרים (כאשר הטמפרטורה הממוצעת ביום השני עולה על 27 מ"צ). כאשר גיל נמצא כמסביר טוב יותר לשונות מאשר מצב סוציו-אקונומי. בנייתו שבוע של גל חום משמעותי שהתרחש ב-2009, נרשמו פי 34 קריאות לאמבולנס, כאשר 61% מהקריאות היו מבוגרים מעל גיל 75, ו-80% הועברו לבי"ח. כמו כן, נמדדה עלייה של 84% בביקורים במיון (ב-46% מהמקרים היה מדובר במבוגרים מעל גיל 75), עלייה של 62% במקרי המוות, ועלייה של 77% במקרי המוות ברי דיווח (של אנשים בלתי מזוהים או מקרי מוות לא טבעיים כתוצאה מאלימות וכדומה) – מתוך כך פי 3 מהצפוי מקרי מוות בקשישים מעל 75, ופי 2 בגילאים 65-74. עוד נמצא שמרבית המקרים אירעו בבתי התושבים.

המחקר מכמת – בהקשר למחלות הקשורות בחום (במונחי דולר אוסטרלי 2012):

- טיפול באמבולנס המחייב הובלה לבית חולים. בהנחה שכל המקרים הועברו למיון (966.25 דולר).
- טיפול באמבולנס המחייב טיפול במקום (291.57 דולר).

⁹⁴ Lindhjem, H., Navrud, S., Braathen, N. A., & Biaisque, V. (2011). Valuing mortality risk reductions from environmental, transport, and health policies: A global meta-analysis of stated preference studies. *Risk analysis*, 31(9), 1381-1407

⁹⁵ Begg, S., Vos, T., Barker, B., Stevenson, C., Stanley, L., & Lopez, A. D. (2007). The burden of disease and injury in Australia 2003. <https://www.aihw.gov.au/getmedia/f81b92b3-18a2-4669-aad3-653aa3a9f0f2/bo-daiia03.pdf.aspx>

⁹⁶ מחקרים אחרים מתייחסים להשפעה בריאותית נוספת של ירידה בפריון, במחקר זה נתייחס להיבט זה בנפרד.
⁹⁷ מוכרים גם מושגים דומים, כגון, איכות חיים מתואמת (QALY – Quality Adjusted Life Years), או ערך שנת חיים (VOLY – Value Of a Life-Year).

⁹⁸ Scope (2021). Extreme climate events in Europe: rising economic losses can lead to greater sovereign ratings divergence. https://www.scopegroup.com/dam/jcr:eb50a1cd-7bcd-46db-a2fe-80fa9b1d76da/Scope%20Ratings_Extreme%20Climate%20Events_2021%20Nov.pdf

⁹⁹ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

- קבלה למיון לבני 60 ומעלה (נבע מחוסר זמינות נתונים עבור קבוצות גיל אחרות) – שירות בי"ח (לכל תקופת הטיפול) – 3852 דולר בבי"ח ציבורי ו-3,606 דולר בבי"ח פרטי.
- תמותה – נקבע ערך חיים סטטיסטיים של 3.5 מיליון דולר (בערכי 2007), והערך של שנת חיים מתואמת, במונחי 2007, נקבע על 151 אלף דולר לכל שנת חיים צפויה. ההנחה היא שכ-75% ממקרי המוות הקשורים לחום התרחשו בבני 65 ומעלה (בהתבסס על נתוני עבר שהצביעו על שיעורים של בין 65% ל-90%). עלות התמותה לקבוצת גיל זו הוערכה בהסתמך על הערך של חיים סטטיסטיים ותוך הנחת תוחלת חיים של 82 שנה – סך של 2.1 מיליון דולר, לעומת 3.5 מיליון לאנשים בני פחות מ-65 שנה.

בכדי לכמת את מספר המקרים אשר צפויים לקרות במלבורן, המחקר מאמץ את היחס ההיסטורי בין טמפרטורה יומית ממוצעת למקרים, בהתבסס על נתוני גל החום בשנת 2009. שיעור המקרים המתואר ביחד עם גידול האוכלוסייה הצפוי לגילאים השונים גזר את מספר המקרים בשנה עד שנת 2050. ההשפעות נמדדו הן ביחס למספר הימים עם טמפרטורה גבוהה והן ביחס לגלי חום, וכן בוצע חישוב דומה לחלק המיוחס לתופעת אי החום העירוני, כמתואר בטבלה 3 להלן.

טבלה 3: פרמטרים להשפעות בריאות במלבורן אוסטרליה¹⁰⁰

	Incidence rate	Unit
Ambulance Attendance - Heat related	0.09	Per 100,000 persons per 1 degree above 30.0
Ambulance Attendance - Heat Wave	1.48	Per 100,000 persons per number of days in heat wave (i.e. 3 consecutive days above 35.0)
Transported to hospital	80%	Assumed treated in Emergency Department
ED Presentations, aged 64-74 yrs	0.52	Per 100,000 persons per 1 degree above 30.0
ED Presentations, aged 74 yrs +	3.82	Per 100,000 persons per 1 degree above 30.0
Mortality	0.08	Per 100,000 persons per 1 degree above 30.0

מחקר מקיף שבוצע באנגליה¹⁰¹ מציין כי שיטת ערך החיים הסטטיסטיים הינה גישה מקובלת באנגליה לניתוחי עלות תועלת, למשל לצורך קבלת החלטות בתחום התחבורה, כאשר הערך הנוכחי ב-2020 הוא 2,084,404 ליש"ט. עם זאת, כיוון שאחוז גבוה של המתים מחום הינם אנשים מבוגרים או בעלי רקע רפואי, ומכאן שתוחלת החיים שלהם נמוכה מכלל האוכלוסייה, עולה השאלה האם זה נכון להשתמש בערך זה גם לנושא התמותה מחום. מדדים של שנת חיים מתואמת כומתו בערכים של 40-60 אלף ליש"ט (מונחי 2014), אך אז נדרש מידע לגבי שנות החיים שאבדו, ואין על כך עדיין עדייות מוצקות. בספרות הכלכלית העדכנית מקובל שימוש בערך החיים הסטטיסטיים בלבד, אך זה מניב ערכים גבוהים בהרבה ביחס לשיטות אחרות. טבלה 4 להלן מציגה הערכות לגבי שיעורי התמותה מחום בשנה באזורים שונים באנגליה, לכל 100 אלף איש מהאוכלוסייה הכללית.

¹⁰⁰ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

¹⁰¹ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

טבלה 4: מקרי תמותה ביחס למאה אלף איש לשנה (באזורים שונים באנגליה)¹⁰²

	2000			2020			2050			2080		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
UK	3.3	0.9	6	4.8	2.4	7.8	8.8	3.9	16.8	14	7.4	21.5
N.Ireland	0.9	0.3	2.3	1.6	0.6	2.6	2.9	1.5	6.1	4.9	2.9	7.2
Scotland	0.7	0.2	1.5	1.3	0.3	2.2	2.4	1.3	5.2	4.4	2.6	7.2
Wales	2.4	0.7	5.7	3.5	1.6	5.8	6.5	3.1	14.3	10.6	5.3	16.2

ביחס לעלויות טיפול בהקשר של תחלואה – המחקר משתמש ביחס העלייה בימי אשפוז בהתאם ליחס בין תמותה ותחלואה של 1:102, אין מידע לגבי החומרה של האשפוזים. ערך עליון מיושם בהתאם לנכונות לשלם על טיפולים בבית"ח בהקשר של זיהום אוויר, וערך נמוך מבוסס על מסמך הערכת סיכוני שינויי אקלים מ-2012 שתמחר כל מקרה ב-700 ליש"ט.

ממצאים ממחקרים נוספים:

הבנק העולמי¹⁰³ דווח על עלייה בתמותה של 3.72% לכל עלייה ביחידה של אי-נוחות תרמית (מדד שמשקלל טמפרטורה ולחות - human thermal discomfort index) מעל לסף של 29.3 מ"צ.

ארה"ב: מחקר מקיף על השפעות החום במדינות השונות בארה"ב¹⁰⁴, מגדיר תנאי סף (threshold) להתייחסות, המשקללים את הטמפרטורה והלחות (מדד עומס חום - heat index)¹⁰⁵. על פי מחקר זה, ימי זהירות מוגדרים מעל מדד של 32 מ"צ (לדוגמא, טמפרטורה של 29 מ"צ עם 65% לחות), ימים מסוכנים מוגדרים מעל מדד של 38 מ"צ (לדוגמא, 31 מ"צ עם 70% לחות), וימים מסוכנים מאוד מוגדרים מעל מדד של 52 מ"צ (לדוגמא, 33 מ"צ עם 90% לחות). מחקר על גל חום בקליפורניה ב-2006 מצא ששיעור התמותה היומית עלה ב-9% לכל 10 מעלות פרנהייט (5.6 מ"צ)¹⁰⁶. כמו כן, נרשמה עלייה משמעותית בביקורים במיון בעקבות אי-ספיקת כליות חריפה, דלקת בכליות, סוכרת, מחלות לב וכלי דם וחוסר איזון אלקטרוליטי¹⁰⁷. מחקר הצביע על עלייה של 2% במיתות גברים בימים עם טמפרטורה מעל 32.2 מ"צ¹⁰⁸ (לעומת עלייה של 3.2% במספר המיתות לכל מעלה מעל 20 מ"צ, בדלהי). מחקר בקליפורניה¹⁰⁹ מצא 3% עלייה בתמותה כתוצאה מכל עלייה של 10 מעלות פרנהייט ביחס לטמפרטורה היומית הממוצעת. המחקר מצביע על עלייה משמעותית בתמותה בגילאי 85 ומעלה – כך לכל עלייה במעלת פרנהייט מעל טמפרטורה המרגישה כמו 96.3 מעלות פרנהייט העלייה בתמותה מאירועים לא טראומטיים הינה 1.8% לכל הגילאים ו-4.2% לבני 85 ומעלה;

¹⁰² Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>.

¹⁰³ World Bank Group (2014). Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal. Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20595>

¹⁰⁴ First Street Foundation (2022). The 6th National Risk Assessment - Hazardous Heat. <https://firststreet.org/research-lab/published-research/article-highlights-from-hazardous-heat/>

¹⁰⁵ <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>

¹⁰⁶ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

¹⁰⁷ Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G., Margolis, H. G., Smith, D., Solomon, G., ... & English, P. (2009). The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environmental health perspectives*, 117(1), 61-67.

¹⁰⁸ Carleton, T. A., & Hsiang, S. M. (2016). Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304), aad9837. https://gspp.berkeley.edu/assets/uploads/research/pdf/CARLETON_HSIANG_SCI-ENCE_2016.pdf

¹⁰⁹ County of Santa Clara (2015). SILICON VALLEY 2.0. Climate Adaptation Guidebook. https://sustainability.scc.gov/sites/g/files/exjcpb976/files/documents/1_150803_Final%20Guidebook_W_Appendices.pdf

העלייה בתמותה מבעיות במחזור הדם הינה 2.3% לכל הגילאים ו-4.8% לבעלי 85 ומעלה; והעלייה בתמותה ממחלות לב וכלי דם מתבטאת שביעור של 4.2% בבני 85 ומעלה בלבד. מחקר אחר מצא כי לכל עלייה של 2 מעלות פרנהייט יהיו 20-30 מקרי סרטן עודפים (estimated excess cancer cases)¹¹⁰. בבוסטון, בשנות הבסיס (1985 עד 2016), התמותה הקשורה לחום הייתה כ-2.9 לכל 100,000 איש¹¹¹. במהלך 2020, שיעור זה צפוי להיות גבוה יותר מכפול. בתרחיש הבינוני¹¹² שיעור זה עלול לעלות לכ-9, ו-10.5 לכל 100,000 איש, בשנות ה-2050, וה-2080, בהתאמה. ובתרחיש "עסקים כרגיל" השיעורים צפויים להגיע לכ-12, ו-19.3 לכל 100,000 איש, ב-2050 ו-2080, בהתאמה. עוד נמצא במחקר כי בימים חמים (מעל 32 מ"צ) יש עלייה של 9% בקריאות לשירותי החירום בהשוואה לשאר ימות השנה. עם זאת, כאשר הטמפרטורה היא מעל 35 מ"צ, יש עלייה של 7% בלבד בקריאות, כנראה בשל אזהרות חום מקומיות ומרכזים מקוררים אשר מפחיתים חלקית את הצורך בשירותי חירום. גם שיעור הקריאות למשטרה ולכיבוי אש עולה כתוצאה מפיגועות עקיפות בבריאות.

אירופה: מחקר מקיף על אזורים שונים באירופה¹¹³, חוזה שתחת תרחיש RCP8.5 צפויה תוספת של 132 אלף מיתות מידי שנה כתוצאה מגלי חום לקראת סוף המאה (פי 50 מהמצב כיום). תחת תרחיש 2 מ"צ התוספת צפויה להיות 58 אלף מיתות בשנה בתקופה 2025-2055. כאשר בדרום אירופה מתרחשים למעלה מ-60% מהמקרים. המחקר מכמת את הנושא של מוות כתוצאה מגלי חום באמצעות אובדן הרוחה, כאשר החישוב מתבסס על ערך החיים הסטטיסטיים שהוא 1.14 מיליון אירו לאדם (במונחי 2007) כפול מספר המיתות בטרם עת. כמו כן צפויה עלייה באשפוזים בבתי חולים עקב מחלות נשימה הקשורות לחום מ-11 אלף מקרים (0.18%) בתקופה 2010-1981, ל-26 אלף אשפוזים (0.4%) בתקופה 2021-2050. במחקר אחר¹¹⁴ נמצא כי שינויים דמוגרפיים (גידול אוכלוסין, הגירה ועיור) תורמים לכ-10% מהגידול בתמותה באמצע המאה, ולאחר מכן, התרומה שלהם יורדת. מחקר נוסף מצביע על כך שתושבים בשכונות עם אזורי ירוקים היו בסבירות של פי 3 לעסוק בפעילות גופנית, והסבירות שלהם לסבול מהשמנה הופחתה בעד 40%¹¹⁵.

צרפת: ההערכות הרשמיות בצרפת לגבי השפעות הבריאותיות של גלי חום התייחסו לנושאים של תמותה ותחלואה בלבד. מחקר חדש שפורסם השנה¹¹⁶ מתייחס גם להשפעות בלתי מוחשיות אשר מבטאות את הנזקים לאיכות החיים וה-well-being שמוחסים לאירועי בריאות בעבור החולה ומשפחתו. המחקר מעריך נדק ל-well being תחת חשיפה לגלי חום בשל הגבלה בפעילות יומיומית וסימפטומים כגון, עייפות, התכווצויות, מכת חום, ירידה בערנות ותפקוד קוגניטיבי. הגבלת הפעילות מיוחסת לרמה אדומה של גל חום (red heat wave level) אשר מובילה לביטול אירועים מסוימים ואזהרות להימנע מטוילים ולהפחית את הפעילות הגופנית. מצב זה אנלוגי למצב של הגבלת פעילות מינורית (MRAD – Minor Restricted Activity Day) – (הגדרה שלקוחה מה-EPA¹¹⁷) כאשר פרטים מפחיתים את מרבית הפעילות היומית ומחליפים אותה בפעילות פחות מאומצת או מנוחה, אבל אינם נעדרים מעבודה או לימודים. בהעדר

¹¹⁰ Jacobson, M. Z. (2008). On the causal link between carbon dioxide and air pollution mortality. *Geophysical Research Letters*, 35(3).

¹¹¹ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/em-bed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

¹¹² תרחיש שבו הפליטות נשארות סביב הרמות הנוכחיות שלהן עד 2050 ולאחר מכן מופחתות לאט במחצית השנייה של המאה עד הפחתת פליטות מתונה.

¹¹³ Ciscar, J. C., Feyen, L., Ibarreta, D., & Soria, A. (2018). Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project. *Publications Office of the European Union*, JRC Science for Policy Report EUR, 29427. https://www.preventionweb.net/files/61911_pesetaiiiifinalreport.pdf

¹¹⁴ Forzieri, G., Cescatti, A., e Silva, F. B., & Feyen, L. (2017). Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *The Lancet Planetary Health*, 1(5), e200-e208.

¹¹⁵ Wolf, K.L., S. Krueger, and K. Flora. (2015). Reduced Risk - A Literature Review. In: Green Cities: Good Health (www.greenhealth.washington.edu). College of the Environment, University of Washington.

¹¹⁶ Adélaïde, L., Chanel, O., & Pascal, M. (2022). Health effects from heat waves in France: an economic evaluation. *The European Journal of Health Economics*, 23(1), 119-131.

¹¹⁷ EPA (2008). Final Ozone NAAQS Regulatory Impact Analysis. U.S. Environmental Protection Agency, North Carolina, US. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-07/documents/naaqs-o3_ria_final_2008-03.pdf

מחקרי נכונות לשלם ייעודיים לנושא זה, המחקר מאמץ ערך חציוני של 43 אירו¹¹⁸, וערך זה מוכפל במספר הימים שהוגדרו תחת אזהרה אדומה (סך הכול פעמיים בתוך 5 השנים שנסקרו במחקר) והאוכלוסייה שהייתה מושפעת מהם (27 מיליון איש). הנזק הכלכלי המוערך להשפעות אלו הינו 2.3 מיליארד אירו, שהיוו 9% מסך הנזק שחושב (בעוד שתמותה היוותה 91% ותחלואה אחוז אפסי). עוד מציין המחקר שאלמנטים בלתי מוחשיים (ללא מחיר שוק) מהווים שיעור משמעותי מסך הנזקים, כך למשל, תחת העלות של ביקורים במיון, אלמנטים אלו מהווים 54% מהעלות, ותחת העלות של אשפוזים הם מהווים 23%.

אזור הים התיכון: מחקר שבחן את היחס בין החום לתמותה במספר ערים באזורנו, מצא שהיחס הגבוה ביותר נרשם בערים החמות ביותר, ביניהן תל אביב-יפו¹¹⁹. עם זאת, בערים אלו האוכלוסייה מאוקלמת לחום ולכן רק בטמפרטורות גבוהות במיוחד מתחילה ההשפעה על התמותה. בערי דרום-מזרח הים התיכון נצפתה השפעה גבוהה יותר בקרב קבוצות גיל צעירות יותר (בתל אביב גילאי 15-64, המהווים 63.7% מהאוכלוסייה) לעומת ערים אירופיות שבהן אוכלוסיית הקשישים הייתה הפגיעה ביותר (טבלה 5). ההסבר יכול להיות נעוץ באוכלוסייה צעירה יותר ביחס לערים האירופיות, ובתל אביב-יפו יכול להיות קשור לנוכחות של מחלות כרוניות או סיכונים מקצועיים/תעסוקתיים אשר מגדילים את הפגיעות. תנאי האקלים הסבירו את רוב ההטרוגניות שנצפתה, ומתוך המאפיינים הסוציו-דמוגרפיים והכלכליים זוהו רק ההוצאה הבריאותית לנפש ושיעור האבטלה כהסבר אפשרי (משתנים אחרים שנבחנו כללו, התפלגות גילאים באוכלוסייה, תמותת תינוקות, תוחלת חיים, מיטות אשפוז לנפש, ותמ"ג לנפש).

טבלה 5: שיעור השינוי בתמותה לעלייה של 1 מ"צ מעל סף הטמפרטורה הנראית המקסימלית*¹²⁰

City ^a	all ages		0-14 age group		15-64 age group		65-74 age group		75+ age group	
	% change	95% CI	% change	95% CI	% change	95% CI	% change	95% CI	% change	95% CI
Rome	6.4	5.8 - 7.0	-0.1	-5.9 - 6.0	2.9	1.7 - 4.2	5.0	3.9 - 6.1	7.9	7.2 - 8.6
Barcelona	3.2	2.7 - 3.7	-4.2	-12.1 - 4.4	1.2	0.1 - 2.3	2.1	1.0 - 3.1	4.0	3.4 - 4.6
Bar ^b	3.2	3.6 - 6.8	—	—	8.9	5.1 - 12.8	3.2	1.8 - 8.7	4.2	2.2 - 6.3
Istanbul ^c	2.4	0.6 - 4.1	—	—	5.6	2.5 - 8.8	5.5	2.6 - 8.5	—	—
Valencia	1.4	0.7 - 2.1	1.0	-7.2 - 9.5	0.5	-1.1 - 2.1	0.0	-1.5 - 1.5	2.1	1.1 - 3.0
Lisbon	8.8	7.5 - 10.2	6.2	-8.3 - 25.1	3.3	0.5 - 6.1	6.3	3.7 - 9.1	11.6	9.9 - 13.4
Palermo ^d	3.2	0.7 - 5.7	—	—	-1.2	-7.2 - 5.5	6.5	1.5 - 11.7	3.3	0.2 - 6.5
Athens	3.5	3.0 - 4.0	-2.5	-7.9 - 3.2	1.3	0.2 - 2.5	3.0	2.0 - 3.9	4.3	3.7 - 5.0
Tunis	4.3	2.7 - 5.9	7.6	3.2 - 12.2	2.3	-0.4 - 5.2	5.4	2.2 - 8.7	4.6	1.8 - 7.5
Tel-Aviv	2.0	0.9 - 3.2	5.3	-3.2 - 14.5	4.4	1.7 - 7.1	2.2	-0.2 - 4.6	1.0	-0.3 - 2.3

* סף הטמפרטורה הנראית המקסימלית בתל אביב-יפו מוגדרת במחקר כ-33 מ"צ

השפעות שינויי האקלים על הבריאות – מחקרים על ישראל

סקירת המחקרים הבוחנים את ההשפעות הבריאותיות של התחממות וגלי חום בישראל מעלה כי קיימים ממצאים בנוגע להיבטים המפורטים להלן¹²¹:

1. **עלייה בתחלואה ובאשפוזים** – מחקרים מצביעים על יותר אשפוזים בבתי חולים במהלך חודשי הקיץ עקב מחלות לב וכלי דם (בעיקר בימים חמים יותר), והראו כי ההשפעה של הטמפרטורה היומית הממוצעת על מספר הביקורים

¹¹⁸ Ready, R., Navrud, S., Day, B., Dubourg, R., Machado, F., Mourato, S., ... & Rodriguez, M. X. V. (2004). Benefit transfer in Europe: how reliable are transfers between countries?. *Environmental and resource economics*, 29(1), 67-82.

¹¹⁹ Leone, M., D'Ippoliti, D., De Sario, M., Analitis, A., Menne, B., Katsouyanni, K., ... & Michelozzi, P. (2013). A time series study on the effects of heat on mortality and evaluation of heterogeneity into European and Eastern-Southern Mediterranean cities: results of EU CIRCE project. *Environmental health*, 12(1), 1-12.

¹²⁰ Ibid.

¹²¹ ברמן, ט., וקריגל, ק. (2020). שינויי אקלים ובריאות הציבור: סקירת ספרות, מיפוי מדדי בריאות והמלצות לפעולה לקראת תוכנית עבודה של משרד הבריאות.

https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/climate_change_and_public_health_2020

בחדר המיון הינה משמעותית: עלייה של 1.47% במספר הביקורים עם כל עלייה של מעלה אחת¹²². גלי חום גם מעלים את הסיכון ללקות באירועים מוחיים (עם זאת, כאשר הפער בין הטמפרטורה ביום לטמפרטורה בלילה גדל, הסיכון לשבץ מוחי יורד). בימי שרב (טמפרטורה גבוהה ולחות נמוכה), המאופיינים בריבוי גרגירי אבק באוויר, נמצא שאנשים הסובלים מאלרגיה חווים תסמינים חזקים יותר. כמו כן, נמצא קשר חיובי חזק בין הטמפרטורות היומיומיות וריכוזי PM10, לבין מספר הפניות לבתי החולים בישראל.

2. **השפעות בריאותיות כתוצאה מפעילות זוחלים ופרוקי-רגליים** – טמפרטורה גבוהה יכולה להגביר את פעילותם של זוחלים ופרוקי-רגליים. כך למשל מחקר שאסף נתונים על פניות לאשפוז בעקבות הכשות נחשים בישראל בין השנים 2008-2015, דיווח על קשר בין עלייה במספר מקרי ההכשה לבין טמפרטורות גבוהות (ולחות נמוכה). בפרט, גלי חום נקשרו לעלייה בתדירות ההכשות בעונות הקרות והחמות. מחקר נוסף מצא קשר בין התפרצות קדחת מערב הנילוס בישראל בשנת 2015 לבין גלי חום קיצוניים שהתרחשו באותה השנה.
3. **עלייה בתחלואת הנפש** – במחקר שנערך בישראל בקרב 2,338 משתתפים המתגוררים באזור באר שבע, נמצא קשר בין התחממות (עלייה של 5 מ"צ) לבין ניסיונות התאבדות יומיים אחרי. החוקרים הסיקו כי עלייה תלולה בטמפרטורות הינה בעלת השפעה רבה על הסיכוי להתנהגות אובדנית, בייחוד בקרב מטופלים בעלי אבחון פסיכיאטרי או עם ניסיונות התאבדות קודמים.
4. **פגיעות יתר של נשים בהריון, עוברים וילודים** – במחקרים שבוצעו בישראל נמצא כי טמפרטורה ממוצעת גבוהה במהלך השליש הראשון או השלישי להריון מגדילה את הסיכון להתפתחות רעלת הריון. מחקר אחר דיווח כי חשיפה לטמפרטורת גבוהות בשבועות 32-39 להריון אף קשורה לסיכון גבוה יותר ללידה מוקדמת, בעיקר בעוברים ממין נקבה. מחקר אחר מצא קשר בין חשיפה לטמפרטורה גבוהה בשבועות 3-8 להריון ולידת תינוקות עם מומי לב.
5. לאחרונה, פורסם תקציר מחקר¹²³ שמצביע על תמותה עודפת של כ-45 אנשים בממוצע לכל גל חום, בשמונה גלי חום שהתרחשו בישראל בין יולי 2012 לספטמבר 2020. התמותה העודפת נרשמה בשבועות שבהם התקיימו, בכולם או בחלקם, גלי חום או בשבוע עוקב לשבוע שבו התקיים גל חום. עיקר החריגה בתמותה נצפתה במבוגרים מעל גיל 70, שהיוו 88.5% מסך הנפטרים בעקבות גל חום (בעוד שבשגרה אוכלוסייה זו מהווה 70-73% מסך הנפטרים).

בישראל, נתוני האשפוזים עם אבחנת התייבשות או מכת חום מצביעים על עלייה בשיעורי האשפוזים בעשור האחרון ועל הפגיעות של קבוצות גיל מסוימות – ילדים עד גיל 4 וקשישים בני 75+. ניתוח של נתוני הטמפרטורה הראה מגמה של התחממות בשנים אלה (הן בטמפרטורת המקסימום והן בטמפרטורת המינימום) בשמונה עד תשעה מתוך 12 חודשים. מניתוח נתוני האשפוזים עולים קשרים ישירים מובהקים סטטיסטית בין הטמפרטורות הממוצעות החודשיות (מקסימום ומינימום) לבין מספר האשפוזים הכולל.

במחקר נוסף שבוצע בישראל¹²⁴, אשר בחן תועלות בריאותיות של הצללה, נמצאה תועלת משמעותית במתן אפשרות לקיים מגוון רחב יותר של פעילויות גופניות ובתדירות גבוהה יותר. אימון גופני תדיר וקבוע עשוי לחזק את המערכת החיסונית ולמנוע מחלות כרוניות רבות – מחלות לב, מחלות כלי-דם, סוכרת מסוג 2, סרטן המעי הגס, סרטן השד והשמנת יתר¹²⁵. הפעילות הגופנית מסייעת גם לשיפור הבריאות הנפשית. חוסר פעילות גופנית אובחן כגורם המוות

¹²² Novikov, I., Kalter-Leibovici, O., Chetrit, A., Stav, N., & Epstein, Y. (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.

¹²³ ימין, ד., שמואלי, א. (2022). תמותה עודפת בישראל בשל גלי חום – מחקר ראשוני עבור המדענית הראשית של המשרד להגנת הסביבה.

https://www.gov.il/he/Departments/news/moep_research_on_heat_waves_climate_crisis_and_mortality_in_israel

¹²⁴ משרד הבריאות, מכללת תל חי, משרד הבינוי והשיכון (2019). ניתוח עלות-תועלת של הצללה בישראל. https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/research_1079

¹²⁵ Katzmarzyk, P. T., Gledhill, N., & Shephard, R. J. (2000). The economic burden of physical inactivity in Canada. *Canadian Medical Association Journal*, 163(11), 1435-1440.

הרביעי בעולם¹²⁶, כאשר בממוצע כ-8% ממקרי המוות קשורים בצורה זו או אחרת לתופעה. לפעילות גופנית תועלת שולית פוחתת. בכדי שאדם יוגדר כפעיל עליו לבצע חמישה ימי פעילות בשבוע במשך 30 דקות כל אחד, מעבר למשך זמן זה התועלת דועכת ואינה משמעותית. אומדן כלכלי מצביע על תועלת מפעילות גופנית, אשר נעה בין 180 דולר באירופה ל-285 דולר בצפון אמריקה, לשנה לנפש¹²⁷. מכאן, שחישוב הנזק כתוצאה מאי-פעילות גופנית, מניח מה שיעור האנשים שפעילות זאת נמנעת מהם בשל החום, ומה שיעור האנשים, מתוך קבוצה זו, אשר זקוקים לפעילות גופנית (המחקר הניח שיעור של 30% לשתי הקטגוריות, ומכאן חושבה תועלת מפעילות גופנית של 9%). מחקר זה השתמש בשווי החציוני של חיי אדם של 2.378 מיליון דולר, שהם 368 אלף ש"ח לשנת חיים מתואמת בהתאם למחירי ישראל בשנת 2018. בהתאם לכך חושבה תועלת מקסימלית עבור אדם העובר ממצב "לא פעיל" ל"פעיל" באופן קבוע (כ-150 דקות בשבוע), תוך התייחסות לשנות חיים מתואמות מתוספות, חיסכון למערכת הבריאות ותוספת פרודוקטיביות (ראו טבלה 6), ונמצאה תועלת שנתית מפעילות גופנית לילד של 600 ש"ח, ותועלת שנתית לאדם של 1,178 ש"ח.

טבלה 6: תועלת שנתית מפעילות גופנית לילד ומבוגר בישראל¹²⁸

קבוצת גיל	16-44	45-64	65+	ממוצע משוקלל
שנות חיים מתואמות מתוספות (ש"ח)	137	1,221	2,971	721
חיסכון למערכת הבריאות (ש"ח)	172	172	172	172
תוספת פרודוקטיביות (ש"ח)	290	290	290	290
סה"כ תועלת בשנה (ש"ח)	600	1,684	3,433	1,178

מאגר מידע הבוחן הקשרים בין שינויי האקלים ובריאות¹²⁹, מצא כי מספר המיתות המקושרות לחשיפה לחום קיצוני בישראל, היה 130 (ממוצע השנים 2000-2005), ועלה ל-220 (ממוצע השנים 2014-2019). אחוז השינוי בממוצע שש שנתי נע מתואר בטבלה 7 להלן.

טבלה 7: אחוז השינוי במספר המתים המיוחסים לחום (ממוצע שש שנתי נע)¹³⁰

2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
	60.2	46.4	47.6	34.9	40.5	26.7	29.9	33.4	20.2	17.8	-1	-3.3	-2.1	-3.1	0					

¹²⁶ Kohl 3rd, H. W., Craig, C. L., Lambert, E. V., Inoue, S., Alkandari, J. R., Leetongin, G., ... & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *The Lancet*, 380(9838), 294-305.

¹²⁷ Scarborough, P., Bhatnagar, P., Wickramasinghe, K. K., Allender, S., Foster, C., & Rayner, M. (2011). The economic burden of ill health due to diet, physical inactivity, smoking, alcohol and obesity in the UK: an update to 2006-07 NHS costs. *Journal of public health*, 33(4), 527-535.

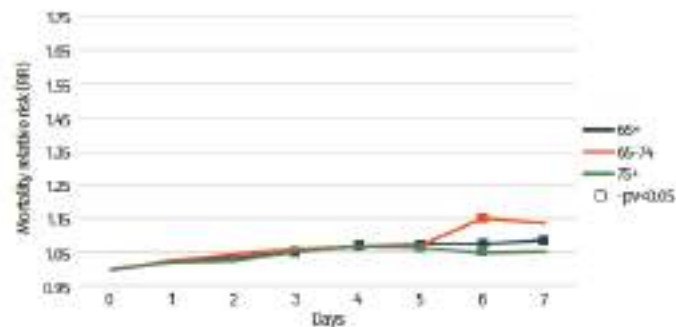
¹²⁸ משרד הבריאות, מכללת תל חי, משרד הבינוי והשיכון (2019). ניתוח עלות-תועלת של הצללה בישראל.

https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/research_1079

¹²⁹ Lancet Countdown (2019). <https://www.lancetcountdown.org/data-platform/climate-change-impacts-exposures-and-vulnerability/1-1-health-and-heat/1-1-1-heat-vulnerability>

¹³⁰ Ibid.

דו"ח של ארגון הבריאות העולמי על ישראל¹³¹, מתאר את הסיכון לתמותה בשנים 1998-2014 ביחס למשכם של גלי החום בקבוצות גיל שונות, ומצביע על כך שאחרי 6 ימים, הסיכון היחסי לתמותה (RRR) היה 1.07, 1.15, ו-1.05, לקבוצות הגיל +65, 65-74, ו-75+, בהתאמה (איור 3).



איור 3: סיכון יחסי לתמותה כפונקציה של התמשכות גל חום באוכלוסייה המבוגרת בישראל¹³²

השפעות שינויי האקלים על החינוך, התרבות והספורט

לחום קיצוני עלולה להיות גם השפעה תרבותית, למשל על אירועי ספורט גדולים, עם השפעות שליליות על הביצועים הספורטיביים ועל החוויה והבריאות של הצופים. בנוסף, מתח חום והתייבשות קשורים לשינויים בהתנהגות וחשש לירידה ברמת הריכוז בלימודים, ולירידה בקוגניציה הן למבוגרים והן לילדים¹³³.

השפעות שינויי האקלים על התנהגות אנטי-סוציאלית

עליית הטמפרטורה עשויה להשפיע על רמת הפשיעה, אך ההשפעה אינה חד משמעית והיא שונה בקטגוריות פשע שונות. מחקרים^{134 135 136 137} מצאו קשר לינארי חיובי וכמעט מיידי לפשעים כגון פשעים קולקטיביים (למשל, מהומות), תקיפה, אלימות ביתית, פריצה והתאבדות. נמצא שמעל 25 מ"צ, כל עלייה במעלה אחת תגדיל את מספר הקריאות השבועיות במשטרה בגין אלימות ביתית ב-0.549, ובימים חמים (מעל 32 מ"צ) עלייה של מעלה אחת, מעלה את מספר פשעי האלימות (רציחות ותקיפות) ב-6.62 מקרים לכל 100 אלף אנשים. גם במקומות בהם הטמפרטורה הממוצעת נעה בטווח של 30-35 מ"צ מרבית השנה (הודו, למשל), ניתן להבחין בנטייה חזקה לאלימות בימים שבהם הטמפרטורה עולה באופן בלתי צפוי¹³⁸.

¹³¹ WHO and United Nations Framework Convention on Climate Change (2022). ISRAEL - Health and Climate Change, Country Profile 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/352628>

¹³² Ibid.

¹³³ IPCC WGII Sixth Assessment Report (2022). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

¹³⁴ Cohn EG (1990). Weather and Crime. *British Journal of Criminology*, 30(1), 51-64.

¹³⁵ Anderson, C. A., Bushman, B. J., & Groom, R. W. (1997). Hot years and serious and deadly assault: empirical tests of the heat hypothesis. *Journal of personality and social psychology*, 73(6), 1213.

¹³⁶ Auliciems, A., & DiBartolo, L. (1995). Domestic violence in a subtropical environment: Police calls and weather in Brisbane. *International Journal of Biometeorology*, 39(1), 34-39.

¹³⁷ Carleton, T. A., & Hsiang, S. M. (2016). Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304), aad9837. https://gspp.berkeley.edu/assets/uploads/research/pdf/CARLETON_HSIANG_SCI-ENCE_2016.pdf

¹³⁸ Blakeslee, D., Chaurey, R., Fishman, R., Malghan, D., & Malik, S. (2021). In the heat of the moment: economic and non-economic drivers of the weather-crime relationship. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 192, 832-856.

עלויות כלכליות של פשיעה כוללות את הנזק הכספי כתוצאה מפגיעה באנשים או רכוש, השקעה ציבורית במניעה ושיטור, ותחזוקת מערכת המשפט. מחקר שבוצע במלבורן, אוסטרליה כימת את היקף התופעה, ביחס לעלות כל מקרה, כמתואר בטבלה 8 להלן.

טבלה 8: הערכה כלכלית של פשעים שונים באוסטרליה (מונחי דולר אוסטרלי 2005)¹³⁹

Crime category	Direct cost per incident	Indirect cost per incident	Total cost per incident
Homicide	\$1,915,000	\$1,298,087	\$3,213,087 ¹³⁹
Assault	\$1,700	\$1,152	\$2,852
Sexual assault	\$7,500	\$5,084	\$12,584
Robbery	\$2,270	\$1,539	\$3,809
Burglary	\$2,900	\$1,966	\$4,866
Theft from vehicles	\$1,000	\$678	\$1,678
Shop theft	\$125	\$85	\$210
Criminal damage	\$1,250	\$847	\$2,097

מחקר אחר שעסק בתועלות הבריאותיות כתוצאה מקרבה לשטחים ירוקים בערים עם אוכלוסייה של מעל 500 אלף תושבים, מצביע על עלות ישירה של פשעים שונים, כמתואר בטבלה 9 להלן.

טבלה 9: חישוב מירידה בשיעורי פשיעה כתוצאה מקרבה לשטחים ירוקים (מונחי דולר אמריקאי 2012)¹⁴⁰

	Robbery	Aggravated assault	Burglary	Theft	Totals
Total events (n)	122,069	177,397	335,230	1,168,860	1,803,546
Total costs (\$)	976.6	4,257.5	743.3	1,642.0	7,621.6
Burns et al. (2011) estimated reduction (\$)	-	340.8	-	-	340.8
Trapp et al. (2012) estimated reduction (\$)	115.2	502.4	88.0	193.8	899.4

עוד נמצא כי חשיפה לגלי חום מגדילה התבטאות שליליות בטוויטר – עלייה של 155% במשך גלי חום ב-2020 לעומת הממוצע של השנים 2015-2019.¹⁴¹

השפעות שינויי האקלים על הרווחה (צדק סביבתי)

יש עלייה לא פרופורציונלית בסיכון שנגרם מחשיפה לחום עירוני עבור אנשים ממעמד סוציו-אקונומי נמוך יותר, במיוחד מהגרים. אי-שוויון מבני, מוסדי וחברתי תורם לפגיעות המוגברת של אוכלוסיות מוחלשות. אלה נובעים מדיור לקוי, פחות גישה למיזוג אוויר וסוג עיסוקים, כגון עבודת כפיים ואיסוף אשפה, המחמירים את החשיפה לחום. בנוסף, ניתן למצוא בשכונות חלשות נתח לא פרופורציונלי של נטל סביבתי, כגון אתרים לטיפול בפסולת, תחנות אוטובוס או תחנות כוח. כמו כן, תנאי המחיה בשכונות אלו מוחמרים בשל חוסר גישה לנכסים סביבתיים, כגון פארקים, ואוכלוסיות אלו סובלות מפחות הזדמנויות להתקנת אמצעי מיזוג אוויר או סיוע בהתקנה של מערכות אנרגיה סולארית. בנוסף להשפעות הישירות, טמפרטורות עירוניות גבוהות יותר מציבות לחצים כלכליים על קהילות אלו בשל הביקוש הגבוה למיזוג אוויר, בשל עלויות רפואיות הקשורות לטיפול במחלות הנגרמות מהחום, וכן אובדן הכנסה כתוצאה מהיעדרות

¹³⁹ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

¹⁴⁰ Wolf, K. L., Measells, M. K., Grado, S. C., & Robbins, A. S. (2015). Economic values of metro nature health benefits: a life course approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 694-701.

¹⁴¹ Lancet Countdown (2019). <https://www.lancetcountdown.org/data-platform/climate-change-impacts-exposures-and-vulnerability/1-1-health-and-heat/1-1-1-heat-vulnerability>

מעבודה¹⁴². ישנן עדויות לכך שאנשים מבוגרים רבים יבחרו לסבול מאי-נוחות אישית ולא לאבד את היכולת לשלם חשבונות חשמל¹⁴³.

כדי להתמודד עם הסוגיה יש ראשית להגדיר ולאבחן את אותן קהילות פגיעות. עבודה מקיפה שבוצעה בבוסטון לשיפור המוכנות האקלימית של העיר¹⁴⁴ שמה דגש מיוחד על אוכלוסיות שנדרש ליישם לגביהן צדק סביבתי. קהילות אלה הוגדרו במחקר באמצעות לפחות שניים מהמאפיינים הבאים – הכנסה חציונית שנתית שווה או נמוכה מ-65% מההכנסה החציונית של המדינה; 25% או יותר מהתושבים בקהילה מזדהים עם גזע שאינו לבן; 25% או יותר מהתושבים מעל גיל 14 מדברים פחות מאנגלית שוטפת.

תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי בריאות

לשינויי האקלים, הכוללים התחממות ואירועי קיצון כגון גלי חום, השפעה ישירה על בריאות הציבור, במיוחד בקרב אוכלוסיות פגיעות או מוחלשות כגון קשישים ומעוטי יכולת כלכלית. בקטגוריית הבריאות והרווחה קיימים ארבעה היבטים אשר זוהו כמשפיעים על כלכלת העיר כתוצאה מהעלייה בטמפרטורה: תמותה ותחלואה – המוגדרים כהיבטים עם השפעות "ידועות-ידועות" אשר ניתן לכמת וגם לאמוד את הנזקים הכלכליים בגיבן; השפעה על חינוך, תרבות וספורט, התנהגות אנטי סוציאלית, והשפעה על הרווחה (צדק סביבתי) – היבטים עם השפעות "לא ידועות-לא ידועות" אשר קשה מאוד לכמתן ולא ניתן לאמוד את הנזק הכלכלי בגיבן.

תחשיב זה מתמקד בהיבטי התמותה והתחלואה וזאת מאחר ומדובר בהשפעות "ידועות-ידועות" הניתנות לכימות ואמידה, ולנוכח ממצאי מחקרים רבים המראים שרוב הנזק לתמ"ג משויך לתמותה עודפת. לצורך אמידת הנזק הכלכלי של היבטים אלו נעשה שימוש במספר פרמטרים ובוצעה התאמה לתרחישים הנבחנים, שנת היעד, תנאי האקלים ומאפייני האוכלוסייה בתל אביב-יפו.

תמותה – נאמד הנזק בשל תמותה עודפת כתוצאה מחום קיצוני וגלי חום:

- חושב שיעור תמותה מחום קיצוני לכל 100 אלף איש, על פי ממוצע המיתות הקשורות לחום קיצוני בישראל בשנים 2014-2019.
- מחקרים העוסקים בשיעור התמותה תחת התרחישים הנבחנים, מעריכים כי בשנת 2050 צפוי גידול של פי 3 בשיעור התמותה מחום קיצוני בתרחיש RCP4.5 וגידול של פי 4 בתרחיש RCP8.5. מכאן חושב שיעור תמותה מחום קיצוני לכל 100 אלף איש בשנת 2050, לכל אחד מהתרחישים – 7.35 לכל מאה אלף איש בתרחיש RCP4.5, ו-9.8 לכל מאה אלף איש בתרחיש RCP8.5.
- בהתאם לשיעור התמותה לכל מאה אלף איש, חושבו מספרי מקרי תמותה צפויים בתל אביב-יפו בשנת 2050, ביחס לגידול האוכלוסייה הצפוי בשנה זו – 55 מקרים בתרחיש RCP4.5, ו-73 מקרים בתרחיש RCP8.5.
- הנזק כתוצאה מהתמותה העודפת חושב באמצעות ערך החיים הסטטיסטי הממוצע כפי שעלה ממחקרים שונים, ותוך התאמה למאפיינים הישראליים.

תחלואה – נאמדו שני היבטים בעלי פוטנציאל נזק כתוצאה מעליית הטמפרטורה:

- ימי אשפוז – נמצא יחס של 1:102 בין מספר מקרי המוות כתוצאה מחום קיצוני למספר ימי האשפוז (עלות יום אשפוז נלקחה מנתוני משרד הבריאות).
- נזק בריאותי הנובע מהימנעות מפעילות ספורטיבית בשל חום – הנזק חושב בהתאם לתועלת הכלכלית השנתית לאדם מפעילות גופנית, כפי שנאמדה במחקר שביצע ניתוח עלות-תועלת של הצללה בישראל.

¹⁴² IPCC WGII Sixth Assessment Report (2022). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

¹⁴³ Lovecchio, J., Basic, G., & Pawlowski, T. (2020). Urban heat, vulnerability, and the public realm: lessons from Tel Aviv-Yafo and implications for COVID-19 recovery. *Smart Sustain Fair Cities*, 40, 108-136.

¹⁴⁴ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

טבלה 10 להלן מציגה את הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו, באלפי ש"ח, בשנת 2050, כתוצאה מתמותה ותחלואה בשל חום קיצוני, בשני תרחישים שונים.

טבלה 10: הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו בשנת 2050, כתוצאה מתמותה ותחלואה בשל חום קיצוני (אלפי ש"ח)

תרחיש RCP8.5	תרחיש RCP4.5	
654,472	490,854	הנזק הכלכלי מתמותת תושבי תל אביב-יפו
14,972	11,229	הנזק הכלכלי מהגידול במספר ימי האשפוז
119,098	79,399	הנזק הכלכלי בשל פגיעה בכושר הגופני

תוצאות התחשיב הכלכלי (היבטי בריאות)

הנזק העירוני בהיבטי בריאות כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב- **581 מיליון ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP4.5.**

הנזק העירוני בהיבטי בריאות כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב- **789 מיליון ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP8.5.**

התחשיב הכלכלי כולל נזקים כתוצאה מתמותה, תחלואה ופגיעה בכושר הגופני של האוכלוסייה, אך אינו כולל כימות נזקים צפויים בתחום החינוך, התרבות והספורט, בשל פשיעה גוברת, ופגיעות מוגברת בקרב אוכלוסיות מוחלשות.

יודגש כי השינוי בשיעור התמותה שנלקח בתחשיב הינו שמרני ביחס למחקרים נוספים. באירופה הוערך כי הגידול במספר המיתות בשל חום קיצוני הינו פי 20. ניתן להניח כי הערכה זו מפנימה את היעדר מערכות האקלום באזורים אלו.

החמרת הממצאים ולקיחת גידול של פי 10 (מחצית מהגידול המוערך במחקר האירופי) יעלה את ערך הנזק מתמותה לכ-5 מיליארד ש"ח בתרחיש RCP4.5, ו-6.9 מיליארד ש"ח בתרחיש RCP8.5.

במקרה זה ערך אומדני ה-bottom-up יהיו גבוהים מסך חישוב הנזק על פי התמ"ג, שחושב על פי שיעור נזק שמרני יחסית. על כן במקרה של החמרה זו בהנחות יש להתאים את הנחות הפגיעה בתמ"ג גם כן למחקרים מחמירים יותר, כפי שמפורט בטבלה 22.

היבטי אנרגיה

שינויי האקלים משפיעים בצורה ישירה על הביקוש לאנרגיה – עלייה בטמפרטורה מביאה לעלייה בדרישה לקירור בקיץ, ולירידה בדרישה לחימום בחורף. ההשפעה ניכרת גם בשינוי בטמפרטורה וגם באירועי קיצון אקלימיים. פגיעות במיוחד לשינויים אלו הן אוכלוסיות החיות בעוני אנרגטי – מצב שבו נאלצים לוותר על קירור וחימום הבתים לאור קשיים כלכליים. היקף העוני האנרגטי נקבע הן מהשינויים בטמפרטורה ומתופעת אי החום העירוני, והן ממצבם של מבני המגורים ומספר האנשים המשתייכים למעגל העוני.

הבנק העולמי במחקר רחב¹⁴⁵, מבצע הערכה של פונקציית הנזק משינויי האקלים על צריכת האנרגיה במשקי הבית בהתאם לעלייה בטמפרטורות. המחקר מצא שבישראל צפויה ירידה בצריכת כל סוגי האנרגיה עקב ההתחממות. ירידה קטנה מאוד בצריכת החשמל של 0.01% בעלייה של מעלה אחת ועד ירידה של 0.04% בעלייה של 5 מ"צ; ירידה מעט יותר משמעותית בצריכת הגז – 0.04% לעלייה של מעלה אחת, ו-0.09%, 0.13%, 0.17% ו-0.2% לכל עלייה במעלה נוספת, בהתאמה. וירידה משמעותית בצריכת הנפט של 3.89% בעלייה של מעלה אחת, ו-7.67%, 11.36%, 14.94% ו-18.44% לכל עלייה במעלה נוספת בהתאמה. חשוב להדגיש שהמחקר משקלל את הביקוש לאנרגיה בכל עונות השנה, ואכן, בתרחיש של התחממות, עלייה בביקוש לחשמל לקירור בקיץ מתקזזת, במידת מה לפחות, עם הירידה בביקוש לחשמל לחימום בחורף¹⁴⁶.

מחקר שבוצע **במלבורן, אוסטרליה**¹⁴⁷, מצא שעל כל עלייה של מעלה מעל טמפרטורה ממוצעת של 20 מ"צ, הספק הרשת צפוי לעלות ב-0.228 ג'יגה-ואט שעה לצורך דרישות קירור, ובגין כל ירידה של מעלה מתחת לטמפרטורה ממוצעת של 16 מ"צ, ההספק צפוי לגדול ב-0.283 ג'יגה-ואט-שעה לצורך חימום (בחורף תהיה הפחתה של דרישה לחימום). טמפרטורות עולות משפיעות גם על שיאי החשמל ומכאן גם על הצורך לשדרג או לבנות תשתיות נוספות – ההערכה במלבורן היא שהרגישות לשיאי הביקוש הינה 36.6 מגה-וולט-אמפר (Mega-volt-ampere) לכל עלייה של מעלה אחת ביום בקיץ. עלייה בביקוש לחשמל יכולה גם לגרום ליותר הפסקות חשמל בגלל עומס ברשת, כמתואר בטבלה 11 להלן.

טבלה 11: תגובת מערכת החשמל לימים חמים במלבורן אוסטרליה¹⁴⁸

Maximum daily temperature range per year	Daily average High Voltage SAIDI (min)	Daily average Low Voltage SAIDI (min)	Daily average SAIDI (min)	Daily average number of high voltage faults	Daily average number of Low voltage faults
30 – 35 °C	0.06	0.001	0.06	0.3	1.0
35 – 40 °C	0.26	0.024	0.29	1.3	7.5
>40 °C	0.14	0.055	0.20	0.7	8.4

* SAIDI – System Average Interruption Duration Index

ההיבטים הכלכליים נמדדים הן מבחינת הספקים והן מבחינת הצרכנים:

- **צרכנים** – חישוב העלות מתבצע באמצעות פערי הצריכה בחשמל כפול מחירי חשמל משתנים (לצורך החישוב חושב מחיר משוקלל) ותחזית לעלייה צפויה במחירי החשמל. נרשם גידול בצריכת החשמל לקירור בקיץ, וצמצום

¹⁴⁵ World Bank Group (2016). Roson, R., Sartori, m. Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP9 Database. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24643>

¹⁴⁶ מגמת הירידה בביקוש לחשמל שמתוארת במחקר זה אינה עולה בקנה אחד עם מרבית המחקרים האחרים בנושא, יתכן שההסבר לכך נעוץ במתודולוגיית המחקר – ראשית, ישראל משייכת במחקר זה לקבוצת מדינות ממוזגות (מדינות בקווי הרוחב 27-63 מעלות), ולא למדינות חמות, בנוסף, גמישות הביקוש לאנרגיה במחקר מבוססת על תמהיל אנרגטי שאינו מייצג כלל את התמהיל בישראל.

¹⁴⁷ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

¹⁴⁸ Ibid.

צרכי החימום בחורף, ונמצא כי סך הכול יש חיסכון בעלות החשמל, אך מגמה זאת צפויה להתאפס לקראת 2050. ההשפעות של העצמת תופעת אי החום העירוני בעקבות שימוש מוגבר במזגנים לא כומתו במחקר.

▪ **ספקים** – הנושא של עלויות הרחבת מערכת החשמל (רשת ההולכה והחלוקה) כדי לענות על שיאי הביקוש בקיץ, נתפס כהקדמת הוצאה שהייתה מתבצעת בכל מקרה ולכן לא כומת במחקר. עם זאת, בשל סיכוי גובר לעומסים על הרשת בקיץ כומתו (במונחי דולר אוסטרלי 2012) עלויות תחזוקה ותיקון לשני סוגי תקלות – תקלות במתח גבוה (2,942 דולר), ותקלות במתח נמוך (1,640 דולר). הפסדים לספקים עבב אי-צריכה בזמן תקלות לא כומתו.

ניתוח שבוצע לגבי **בוסטון**¹⁴⁹ העריך שהפסקות חשמל הן סבירות יותר במהלך גלי חום עקב הגידול בדרישה לחשמל למיזוג אוויר (הצריכה במהלך הקיץ עשויה להגיע לפי 3 משיעור הצריכה הממוצע של 1960-2000), כמו גם ההשפעה של החום על מכונות ומכשירים חשמליים. כמו כן, קיבולת הולכת החשמל עלולה להיות מופחתת בשיעור של 1.9-5.8%, ביחס לשנים 1990-2010 (קווי מתח גבוה הם במיוחד פגיעים, מכיוון שהם אינם מסוגלים לפוגג חום יעיל בשל עוביים). עוד נמצא כי היעילות של לוחות סולאריים מופחתת ב-0.1-0.5%, עבור כל עלייה של מעלה אחת, מעל 25 מ"צ, כך שאתרים סולאריים בקנה מידה גדול (utility scale photovoltaics) עלולים להציג בקיץ הפחתת קיבולת של 0.7-1.7%.

כמעט כל המכשירים האלקטרוניים, ובתוך כך מכשירי קירור, פועלים בצורה פחות יעילה בטמפרטורות גבוהות, ודורשים עומסי אנרגיה גבוהים יותר. מחקר¹⁵⁰ בחן את ההשפעות של תופעת אי החום העירוני על הירידה בביצועים של מערכת קירור (עלויות תיקון ותפעול), ירידה ביעילות מנוע הרכב (צריכת דלק) ופגיעה באורך החיים של מכשירים חשמליים (העלות של תיקון או החלפה), ומצא כי העלות כתוצאה מההשפעות על מערכות המיזוג מהוות כ-80% מסך העלות – 479 מיליון דולר בארבעה חודשי הקיץ (יוני-ספטמבר) בפיניקס אריזונה, כתוצאה מעלייה של 3 מ"צ. המחקר מניח טמפרטורה פנימית (indoor) של 22 מ"צ, כמייצגת אזור נוחות מקובל ושמעליה נדרשים לקירור¹⁵¹. הפחתה במקדם הביצוע של יחידת מיזוג אוויר עקב עלייה של 1 מ"צ בטמפרטורת הסביבה מוערכת בעלות של כ-76 דולר לשנה לכל משק בית, בעוד שהוצאות התיקון העודפות עולות לכל משק בית כ-11 דולר לשנה. במחקר מחושבת¹⁵² תוספת עלות שנתית (תיקון ותפעול מיזוג אוויר) כתוצאה מאי החום העירוני בערים שונות בעולם ביחס לתמ"ג – בדאלאס 0.1%, בפיניקס 0.28%, באתונה 0.15%, בסידני 0.08% ועוד. לגבי רכבים, המסקנה היא כי אין שינוי משמעותי בעלויות התפעול כתוצאה מאי החום העירוני, אך כיוון שתחבורה מגבירה את התופעה נוצרות עלויות חיצוניות (שלא כומתו).

מחקר אחר שבוצע בארה"ב¹⁵³, בחן את ההשפעה של העלייה בטמפרטורה על צריכת החשמל למיזוג אוויר במדינות השונות, ובאזורים שונים בכל מדינה. המחקר מדגיש את השונות בהשפעות בין האזורים, הן במרחק מהים (הנחשב גורם ממתן לטמפרטורה), הן בגובה, והן בהפרש בין הטמפרטורה הממוצעת הרגילה באזור לטמפרטורת השיא, אשר מצביע על מידת החוסן והאקלום של האוכלוסייה. חישוב צריכת החשמל מתבסס על הפער בין הטמפרטורה הממוצעת לטמפרטורה רצויה¹⁵⁴. המחקר מצביע על כך שבקליפורניה צפויה עלייה של 15% בצריכת החשמל לקירור בשנת 2053 (ביחס ל-2023) בתרחיש RCP4.5.

¹⁴⁹ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

¹⁵⁰ Miner, M. J., Taylor, R. A., Jones, C., & Phelan, P. E. (2017). Efficiency, economics, and the urban heat island. *Environment and Urbanization*, 29(1), 183-194.

¹⁵¹ המחקר מתייחס למושג [cooling degree days](#) שמשמש כמדד לאנרגיה הנדרשת לצורך קירור טמפרטורת החוץ (טמפרטורה ממוצעת) לטמפרטורה נעימה בפנים.

¹⁵² בהתאם לעלויות תיקון מיזוג אוויר (מחושבת עלות ממוצעת של תיקון בחישוב שנתי, בהתאם לאורך חיים של 20 שנה ותיקון כל חמש שנים) ועלות תפעול עודפת ממוצעת שנתית של מיזוג למשק בית, בעלייה של 3 מ"צ, של 228 דולר.

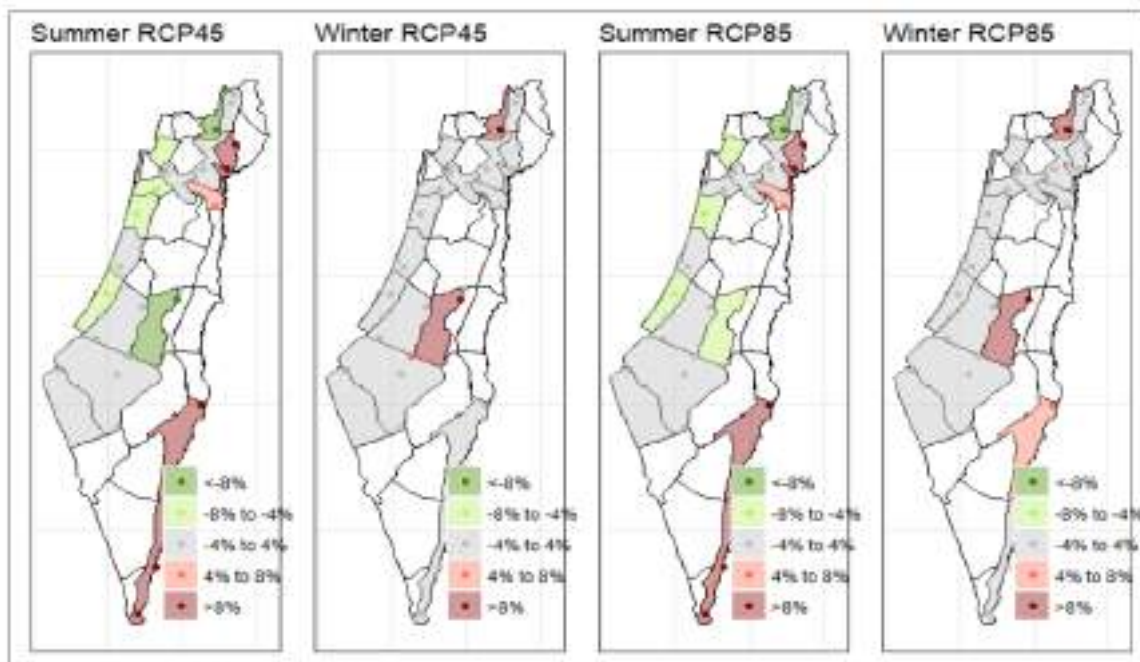
¹⁵³ First Street Foundation (2022). The 6th National Risk Assessment - Hazardous Heat.

<https://firststreet.org/research-lab/published-research/article-highlights-from-hazardous-heat/>

¹⁵⁴ בשונה מההתייחסות להיבטים בריאותיים במחקר, שמתבססת גם על רמת הלחות, ולא רק על הטמפרטורה.

הנושא של השפעת ההתחממות הגלובלית על הביקוש לחשמל בישראל, נחקר על ידי בנק ישראל תוך השוואת הקשר בין שיאי עומס החשמל היומי לבין הטמפרטורה המקסימלית באותו יום במדינות שונות¹⁵⁵. המחקר מצביע על כך שבישראל רגישות הביקוש לחשמל ביחס לטמפרטורה המקסימלית גבוהה ביחס לאזורים חמים במדינות מפותחות אחרות כגון טקסס ואוסטרליה. המחקר התבסס על תרחישי RCP 4.5 ו-RCP 8.5¹⁵⁶, ומצא שתחת תרחישים אלו ממוצעי שיאי הביקוש היומי לחשמל בחודשי הקיץ (אפריל-ספטמבר) צפויים לעלות בשנת 2050 ב-2.45% ו-4.06%, בהתאמה, מעבר למה שמתקבל מתרחיש של העדר התחממות. עד סוף המאה תוספות אלו צפויות להגיע ל-5.33% ו-11.57%. לעומת זאת, עבור חודשי החורף, ההתחממות הגלובלית צפויה להביא לירידה בממוצע שיאי הביקוש היומי לחשמל, כך שירידה זו תגיע בשנת 2050 ל-1.86% ו-2.02%, ועד סוף המאה, ל-3.02% ו-5.03%, בהתאמה.

בחינת ההשפעה של השינוי בטמפרטורה על אזורים שונים בארץ בשנת 2050, מעלה כי אזור תל אביב אינו שונה מהותית ביחס לממוצע הארצי (±4%), לעומת אזורים אחרים בארץ כמו ירושלים, הערבה ואזור הכנרת שלגביהם נרשמת שונות משמעותית יותר, כפי שמתואר באיור 4 להלן.



^{a1} In terms of increase (+) / decrease (-) relative to country mean. %

איור 4: השפעות אזוריות של שינויי טמפרטורה לעומת ממוצע ארצי, באמצע המאה תחת שני תרחישים¹⁵⁸

תחשיב כלכלי לזקק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי אנרגיה

עלייה בביקוש לחשמל

עליית הטמפרטורה מביאה לעלייה בדרישה לקירור בקיץ ולירידה בדרישה לחימום בחורף, כך שהתחממות האקלים משפיעה באופן ישיר על הביקוש לחשמל. כמו בהיבטי הבריאות והרווחה, האוכלוסיות שיושפעו בצורה הקשה ביותר משינויי האקלים הן האוכלוסיות הפגיעות והמוחלשות הסובלות מעוני אנרגטי. ממצאי המחקרים שאמדו את השפעת

¹⁵⁵ בנק ישראל, חטיבת המחקר (2021). השפעת ההתחממות הגלובלית על הביקוש לחשמל בישראל.

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/5-10-21.aspx>

¹⁵⁶ על פי התרחיש הקל, הטמפרטורה הממוצעת בישראל תעלה ב-0.9 מ"צ עד 2050, ועל פי התרחיש החמור ב-1.2 מ"צ.

¹⁵⁷ אמצע המאה מוגדר במחקר זה כטווח השנים 2050-2060, ואילו סוף המאה מוגדרת כטווח השנים 2090-2100.

¹⁵⁸ בנק ישראל, חטיבת המחקר (2021). השפעת ההתחממות הגלובלית על הביקוש לחשמל בישראל.

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/5-10-21.aspx>

התחממות האקלים על הביקוש לחשמל מאופיינים בשונות גבוהה ביותר וזאת בשל ריבוי גופים אשר חקרו את הנושא, יישום מתודולוגיות שונות והיעדר סטנדרטיזציה בשיטות האמידה.

הנחות עבודה:

- הכימות הכלכלי המוצג במודל הינו הגידול בהוצאות החשמל בעיר, הכולל צריכה עירונית בתוך הרשות וצריכה על ידי הרשות/העירייה.
- לא נאמדו היבטים של ההספק המותקן הנדרש ברמה הארצית, השקעות שדרוג תשתיות ופיתוח רשת החשמל.
- הבסיס לחישוב הגידול השנתי לחשמל לשנת 2050 נלקח מתוך ממצאי מחקרים שערכו בנק ישראל, חברת החשמל ופירמת יעוץ אשר אמדו גידול שנתי של 2.7%-3.5%. לפיכך בחרנו בתחזית שמרנית יחסית של 3% גידול שנתי בביקוש לחשמל וזאת עוד לפני השפעת עליית הטמפרטורה.
- מכאן, שהגידול החזוי בביקושים לחשמל בשנת 2050, ללא הפנמת תרחישי ההתחממות, עומד על 130%, פי 2.3 בהשוואה לנתוני 2021, כמפורט בטבלה 12.

טבלה 12: מצב קיים וגידול חזוי בביקושים לחשמל בשנת 2050, ללא הפנמת תרחישי ההתחממות

צריכת חשמל עירונית (קוט"ש)	צריכת חשמל עירייה (קוט"ש)	
3,331,634,750	73,719,000	2021
7,851,215,531	173,723,652	2050

- הגידול בביקוש לחשמל בשנת 2050 לצורך אקלום הוערך בכ-15% בתרחיש RCP4.5, ובכ-20% בתרחיש RCP8.5.
- תעריף החשמל בתחשיב הינו 0.56 ש"ח לקוט"ש (מתבסס על רמות המחירים של שנת 2021), שהינו תעריף ממוצע לשימושים שונים, אך אינו כולל מרכיב קבוע.

טבלה 13 להלן מציגה את הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו, באלפי ש"ח (רמת מחירי 2021), בשנת 2050, כתוצאה מעלייה בביקוש לחשמל בשל עליית הטמפרטורה, בשני תרחישים שונים. הטבלה מציגה נזקים צפויים בעיר כולה, ומתוך כך, נזקים צפויים לעירייה.

טבלה 13: הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו בשנת 2050, בשל עלייה בביקוש לחשמל (אלפי ש"ח – מחירי 2021)

	תרחיש RCP8.5		תרחיש RCP4.5		
	תוספת צריכה שנתית (קוט"ש)	תוספת עלות שנתית (אלפי ש"ח)	תוספת צריכה שנתית (קוט"ש)	תוספת עלות שנתית (אלפי ש"ח)	
בעיר	1,570,243,106	885,198	1,177,682,330	663,899	
בעירייה	34,744,731	19,587	26,058,548	14,690	

פליטות מזהמים

הגידול בביקושים לחשמל מגדיל את פליטות המזהמים לאוויר וגורם לפגיעה בבריאות הציבור והסביבה. חשוב להבחין במקרה זה בין מזהמי אוויר מקומיים, שהינם בעלי השפעה מיידית וארוכת טווח על בריאות הציבור, ובין פליטות של גזי חממה, שהשפעתם הינה גלובלית ולטווח הארוך.

הנחות עבודה:

- לצורך כימות הנזק כתוצאה מפליטות מזהמים, שוקללו ערכי העלויות החיצוניות של פליטות מזהמים מסקטור האנרגיה (על פי הספר הירוק), עם כמות המזהמים הנפלטים מייצור קוט"ש חשמל (טבלה 14).

טבלה 14: עלויות חיצוניות מייצור חשמל

מזהם	גרם/קוט"ש מיוצר	ש"ח לטון (ארובה מעל 100 מ')	אג' /קוט"ש מיוצר
NOx	0.75	54,259	4.1
SO ₂	0.41	39,259	1.6
PM	0.03	*100,818	0.3
CO ₂	615	140	8.6
סך הכול			14.6

* עלות ממוצעת של PM2.5 ו-PM10.

- מתוך עלויות אלו, הונח ערך של 14.6 אג' לקוט"ש, לצורך כימות הנזקים תחת תרחיש RCP8.5.
- הסתכלות על מגמות עתידיות במשק החשמל, תוך הפנמת ערכים שוליים, מעלה כי המדינה מתכוונת לשפר את היכולת הדינמית של מקטע הייצור באמצעות הקמת טורבינות פיקריות גמישות. בעבודה שביצע המשרד להגנת הסביבה¹⁵⁹ נבחנה הכדאיות הכלכלית לשימוש באגירה כחלופה להקמה ותפעול של יחידות פיקריות במחזור פתוח, ונאמדה העלות החיצונית הנחסכת למשק משימוש באגירה לעומת ייצור בפיקריות במחזור משולב, בכ-9 אג' לקוט"ש. עלות זו משקפת את העלות החיצונית השולית, לעומת העלות הממוצעת שהוצגה קודם לכן.
- בתרחיש RCP4.5 הונחה התייעלות בפליטות ולכן הונח ערך נמוך יותר של 9 אג' לקוט"ש המשקף ירידה של עלות הנזק.

טבלה 15 להלן מציגה את הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו, באלפי ש"ח, בשנת 2050, כתוצאה מפליטת מזהמים הנגזרת מעלייה בביקוש לחשמל בשל עליית הטמפרטורה, בשני תרחישים שונים.

טבלה 15: הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו בשנת 2050, כתוצאה מפליטת מזהמים (אלפי ש"ח – מחירי 2021)

	תרחיש RCP8.5		תרחיש RCP4.5		
תוספת עלות חיצונית שנתית (אלפי ש"ח)	תוספת צריכה שנתית (קוט"ש)	תוספת עלות חיצונית שנתית (אלפי ש"ח)	תוספת צריכה שנתית (קוט"ש)		
229,122	1,570,243,106	105,991	1,177,682,330		2050

תוצאות התחשיב הכלכלי (היבטי אנרגיה)

הנזק העירוני בהיבטי אנרגיה כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב- **770 מיליון ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP4.5** – 664 מיליון ש"ח כתוצאה מעלייה בביקוש לחשמל, ועוד 106 מיליון ש"ח בשל הגידול בעלויות החיצוניות.

הנזק העירוני בהיבטי אנרגיה כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב- **1,114 מיליון ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP8.5** – 885 מיליון ש"ח כתוצאה מעלייה בביקוש לחשמל, ועוד 229 מיליון ש"ח בשל הגידול בעלויות החיצוניות.

התחשיב הכלכלי כולל נזקים כתוצאה מגידול בהוצאות החשמל וגידול בפליטות מזהמים, אך אינו כולל כימות השקעות צפויות לצורך שדרוג תשתיות ופיתוח רשת החשמל.

¹⁵⁹ המשרד להגנת הסביבה (2020). אגירת אנרגיה מתחדשת כתחליף לתחנות כוח פיקריות. https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/storage_of_renewable_energy_as_alternative_to_peaker_power_plants_june_2020

השפעות בריאותיות הקשורות לחום יכולות להשפיע לרעה על הכלכלה בארבע דרכים שונות – ירידה באוכלוסיית העובדים בשל מוות, כולל מוות של עובדים, מוות של תינוקות, והגירה; עלייה בהוצאות הרפואיות; ירידה במספר שעות העבודה בשל היעדרות מעבודה כתוצאה ממחלה; וירידה בפריון העבודה¹⁶³ עקב השפעות חום פיזיולוגיות או קליניות¹⁶⁴. מחקרים לא רבים עסקו בתוצאות הישירות של אובדן הפריון – אובדן התוצר ואובדן ההכנסה (כפי שיפורט להלן), ועוד פחות מכך עסקו בתוצאות הלא ישירות – השפעות על תמ"ג, מיסים, השקעות, הוצאות, תעסוקה ועוד, על אף שאלו מהוות בדרך כלל את מרבית הנזק (33-85% מהנזק).

התחממות כדור הארץ משפיעה הן על פריון העבודה והן על הנושא של העסקה הוגנת. חום קיצוני הוכח כגורם חיצוני שלילי חשוב עם השפעה על התפוקה של עובדים, כאשר עובדים בעלי רגישות או עובדים מבוגרים, סובלים ופגיעים במיוחד. תופעת עומס החום מתייחסת למידת החום שהיא מעבר לסיבולת הגוף ללא ליקוי פיזיולוגי. כאשר טמפרטורת הסביבה והלחות עולות, גוף האדם מווסת את טמפרטורת הגוף באמצעות הגברת זרימת הדם אל פני העור והזעה. 'מתח חום' (Heat stress) קורה כאשר ניסיונות הגוף לווסת את הטמפרטורה הפנימית מתחילים להיכשל, ובמקרים קיצוניים זה יכול אף להיגמר במוות. התופעה משפיעה בעיקר על עובדי חוץ – רובם בחקלאות או בבנייה, אך היא מהווה בעיה גם בעבור המועסקים בעבודות כאיסוף אשפה, תחזוקת תשתיות, תחבורה, תיירות וספורט. סביבות חמות מדי (מעל 26 מ"צ ואף 25 מ"צ) הן מבשרות להשפעות ביו-פיזיות וקוגניטיביות, הגורמות למתח פיזיולוגי על העובדים, להורדת מספר שעות העבודה המסופקות, משפיעות על יכולת הטמעת המידע ומפריעות בקבלת החלטות, ובסופו של דבר מערערות את הצמיחה הכלכלית.

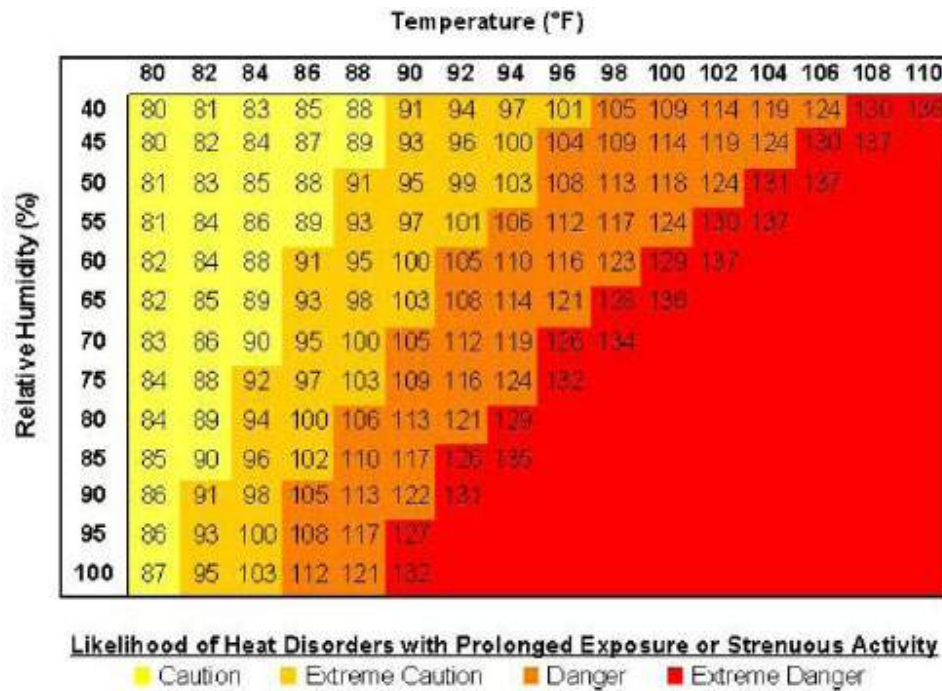
עומס תרמי על עובדים בחוץ, שנגרם על ידי שילוב של טמפרטורת הסביבה והלחות, כמו גם גורמים סביבתיים נוספים (קרבה למשטחים מתכתיים או לאספלט), יכול להוביל למניעת עבודה בחודשי הקיץ – בטווח הטמפרטורות 25-27 מ"צ האפשרות לעבוד בחוץ מצטמצמת בכ-50%, והסיכון מחריף עם העלייה בטמפרטורה ובלחות, כמתואר באיור 5 להלן.

¹⁶⁰ Graff Zivin, J., & Neidell, M. (2014). Temperature and the allocation of time: Implications for climate change. *Journal of Labor Economics*, 32(1), 1-26.

¹⁶¹ Houser, T., Hsiang, S., Kopp, R., Larsen, K., Delgado, M., Jina, A., ... & Wilson, P. (2015). *Economic risks of climate change: an American prospectus*. Columbia University Press.

¹⁶² Yi, W., & Chan, A. P. (2017). Effects of heat stress on construction labor productivity in Hong Kong: a case study of rebar workers. *International journal of environmental research and public health*, 14(9), 1055.
¹⁶³ פריון מוגדר כתוצר (output) לכל יחידת משאב – מספר עובדים או שעות עבודה (labor input).

¹⁶⁴ International Labour Organization (2019). Working on a warmer planet: the impact of heat stress on labour productivity and decent work. International Labour Organization, Geneva.
https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_711919.pdf



איור 5: סיכוני חום לעובדים החשופים לטמפרטורה ולחות גבוהות¹⁶⁵

מחקר שבוצע במלבורן, אוסטרליה¹⁶⁶ מצביע על השפעות על פרודוקטיביות של עוסקים בעבודות חוץ, ובעיקר מפעילים של ציוד כבד, כגון, עובדי נמל. המחקר מביא לזוגמא את הסכם ההעסקה של עובדי נמל מלבורן שבו נקבע שניתן לקחת 15 דקות הפסקה כל שעה כאשר הטמפרטורה היא מעל 35 מ"צ (כלומר הפחתה של 25% בזמן העבודה), ולהפסיק לעבוד לגמרי כאשר הטמפרטורה היא מעל 38 מ"צ. נמצא גם שמעל 40 מ"צ, בעיות מכניות הופכות ליותר שכיחות. במחקר אחר¹⁶⁷ נמצא כי טמפרטורות גבוהות מעל 37 מ"צ גורמות בחישוב ממוצע לירידה של שעה בעבודה ליום. תחזית נוספת מדברת על כך שבמאמץ מתון בעבודה בטמפרטורות של 33-34 מ"צ, העובד מאבד כ-50% מכוחו.

תחזית ארגון העבודה הבין-לאומי היא כי בשנת 2030 עומס החום צפוי להקטין את סך שעות העבודה הכלל-עולמיות ב-2.2% (הערכה מתונה המתבססת על כך שחלק ממטלות החקלאות והבנייה מבוצעות בצל), ואת התמ"ג העולמי בסכום של 2.4 טריליון דולר. התחזיות מבוססות על עליית טמפרטורה עולמית ב-1.5 מ"צ עד סוף המאה ה-21. אולם בהנחה שעבודה חקלאית ועבודות בנייה מתבצעות בשמש, הרי שאובדן שעות העבודה המוערך יעלה ל-3.8%. ענף הבנייה בעולם איבד בשנת 1995 6% משעותיו בשל עומס חום, וצפוי לאבד 19% בשנת 2030¹⁶⁸.

מחקר שבחן את ההשפעות הכלכליות הנוכחיות והעתידיות של גלי חום על פריון באירופה¹⁶⁹ מצא כי אובדן התמ"ג צפוי לגדול בקביעות במשך 40 השנים הבאות, בלי קשר למודל האקלים שנלקח בחשבון, וגם אם ינקטו צעדי הפחתה משמעותיים. המגמה היא אחידה עד 2050 שבה מתחילים שינויים בין המודלים. ממוצע הנזק בשל חום קיצוני בשנים

¹⁶⁵ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

¹⁶⁶ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

¹⁶⁷ צמח שמיר, ש., (2019). הנזק הכלכלי של משבר האקלים. אקולוגיה וסביבה; 10(4): 50-56. <https://magazine.isees.org.il/wp-content/uploads/2021/10/896.pdf>

¹⁶⁸ קוריסקי, מ., זיו, ד., (2020). התחממות כדור הארץ והשפעתה על פריון העבודה ועל העסקה הוגנת. מרכז מידע, המוסד לבטיחות ולגיהות. https://www.osh.org.il/UploadFiles/09_2020/386_Part_9_12.pdf

¹⁶⁹ García-León, D., Casanueva, A., Standardi, G., Burgstall, A., Flouris, A. D., & Nybo, L. (2021). Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe. *Nature communications*, 12(1), 1-10. <https://www.nature.com/articles/s41467-021-26050-z.pdf>

1981-2010 היה 0.21% מהתמ"ג, אך בשנים שהיו חמות באופן חריג (4 שנים כאלו הוגדרו במחקר) נרשם נזק של 0.3-0.5%, כאשר אזורים מסוימים רושמים נזק של מעל 2% (אזורים בהם יש שילוב של חשיפה ממוצעת מוגברת לחום גבוה וחלק גבוה יחסית של עבודה בחוץ). תוצאות המחקר מראות שבזמנים הנוכחיים ההשפעות הישירות של חום הינן בעיקר על עבודות שנעשות בחוץ – שגם לא אמורות להיות מושפעות כל כך מפעולות אדפטציה כמו בידוד מבנים או הכנסה של מיזוג אוויר. עם זאת, הנזק בסקטורים האלה עשוי להתפשט גם לסקטורים תלויים – למשל סקטורים התלויים בחקלאות כמו ייצור מזון ותיירות. המחקר מציין כי עבודות בסביבה עירונית, כמו בנייה, אמורות להבחן בנפרד בשל תופעת אי החום העירוני. באירופה סחר בין אזורים עשוי להקטין את הפגיעה (בגלל שונות הנזק בין האזורים השונים). הניתוח לא כולל פגיעות פיזיות כתוצאה מחום ועלויות של רפואה ציבורית כתוצאה מהן. ממוצע הנזק צפוי לגדול ל-0.77% בשנים 2035-2045 (סטיית תקן (ס.ת.) $\pm 0.16\%$) וסביב 0.96% בשנים 2045-2055 (ס.ת. $\pm 0.26\%$) ומעל 1.14% בשנות ה-2060 (ס.ת. $\pm 0.25\%$). עוד נמצא כי בדרום אירופה הנזק יהיה גדול יותר – בפורטוגל, ספרד וקרואטיה, 2% נזק ב-2040 ו-3% נזק ב-2060; ביוון ואיטליה נזק שנתי של יותר מ-2% בשנים 2055-2064. מחקר אחר¹⁷⁰ מצא אובדן של 0.5% מהתמ"ג ב-2050 בלבד.

מחקר מקיף שבוצע באנגליה¹⁷¹ בחן את ההשפעה על פריון בעובדי חוץ ובעובדי פנים אשר עובדים ללא מיזוג אוויר ומצא שלא צפויה השפעה בטווח הקרוב, ולקראת סוף המאה צפוי אובדן פריון של 0-2%. המחקר מציין שכפי הנראה יהיה אובדן פריון כתוצאה מגלי חום, אולי אפילו באופן עקיף, למשל בשל הפרעות בתחבורה.

מחקר שבוצע בארה"ב¹⁷² ובחן את הקשר בין חום קיצוני לפריון בעבודה, העריך שבאמצע המאה, תחת תרחיש RCP8.5, צפוי אובדן של מיליארד שעות עבודה בשנה, כאשר המשמעות הכספית היא אובדן של 30 (40-5) מיליארד דולר בשנה, אשר מהווים 0.18% מהתמ"ג (במונחי 2016). תחת תרחיש RCP4.5, ימנע אובדן של 141 מיליון שעות עבודה בשנה, ב-2050 (חסכון של 5 (6.7-0.8) מיליארד דולר). המחקר מציין כי ההימנעות מאובדן השעות תחת תרחיש RCP4.5 לעומת תרחיש RCP8.5 היא צנועה יחסית באמצע המאה אך משמעותית לקראת סוף המאה. עוד נמצא כי נזקים גדולים צפויים בעיקר במדינות הדרום (קליפורניה ועד פלורידה), בשל שילוב של התחממות משמעותית יותר באזורים אלו ואוכלוסייה עובדת גדולה יותר. וכן, שהסקטור שנפגע הכי הרבה הוא סקטור הייצור שמהווה כמעט מחצית מסך הנזק (סקטורים נוספים שנבחנו כוללים את סקטור החקלאות, הבנייה, הכרייה, התחבורה והתשתיות). המחקר בוחן את הנזק כתוצאה מחום קיצוני, מבלי לשקול יישום אמצעי אדפטציה ושינויים דמוגרפיים, כלכליים ושינויים הקשורים לשוק התעסוקה או למבנה השכר, ובנוסף, גם לא לוקח בחשבון את האפשרות שעבודה שנמנעת בגלל החום תבוצע בזמנים אחרים. עם זאת, המחקר משווה בין תוצאות המתקבלות משני מודלים שונים – המודל הראשון בוחן הפחתה בשעות עבודה ביחס לטמפרטורה מקסימלית, ואילו המודל השני בוחן את ההשפעה של טמפרטורה ממוצעת ולחות על הפריון. המחקר מצא כי חישוב לפי המודל השני מניב ערכים גבוהים פי 2 ויותר מחישוב לפי המודל הראשון.

על פי ה-IPCC ברחבי העולם, עומס חום עירוני צפוי להפחית את פריון העבודה ב-20% בחודשים חמים עד 2050 לעומת ירידה נוכחית של 10%.¹⁷³ הדו"ח מדגים קשר לא ליניארי בין טמפרטורה לפריון הכלכלי העולמי, עם הפסדים גלובליים פוטנציאליים של 23% עד 2100 עקב שינויי האקלים בלבד.

¹⁷⁰ Orlov, A., Sillman, J., Aunan, K., Kjellstrom, T. & Aaheim, A. (2020). Economic costs of heat-induced reductions in worker productivity due to global warming. *Global Environmental Change* 63, 102087.

¹⁷¹ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

¹⁷² Zhang, Y., & Shindell, D. T. (2021). Costs from labor losses due to extreme heat in the USA attributable to climate change. *Climatic change*, 164(3), 1-18.

¹⁷³ IPCC WGII Sixth Assessment Report (2022). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

מחקר נוסף שבחן פרספקטיבה עולמית¹⁷⁴ העריך כי הנזק הכלכלי הגדול ביותר לפריון העבודה בשל השפעות של חום כתוצאה משינויי אקלים, צפוי בדרום ודרום-מזרח אסיה, אפריקה שמדרום לסהרה ומרכז אמריקה, כאשר כלכלות המבוססות על חקלאות נפגעות יותר מכלכלות המבוססות על שירותים. על פי מחקר זה, הנזק הגלובלי הצפוי בשנת 2100 כתוצאה מאובדן פריון בשל השפעות חום, הינו 0.31% (0.14-0.5%) מהתמ"ג העולמי תחת תרחיש RCP2.6, ו-2.6% (1.4-4%) תחת תרחיש RCP8.5. עם זאת, כ-22-68% מהנזקים הכלכליים הצפויים יכולים להימנע באמצעות יישום אמצעי אדפטציה.

הבנק העולמי במחקר רחב¹⁷⁵, מבצע הערכה של השפעות החום על פריון העבודה בסקטור החקלאות, הייצור והשירותים, במדינות שונות בהתאם לעלייה בטמפרטורה. מהמחקר עולה שבישראל, עלייה של 2 מ"צ תשפיע על ירידת הפריון בסקטור החקלאות בשיעור של 0.96%, ובשיעורים של 2.77%, 5.23% ו-8.18%, לכל עלייה במעלה נוספת – 3, 4, ו-5 מ"צ בהתאמה. סקטור הייצור יושפע רק החל מעלייה של 4 מ"צ, עם ירידה של 0.61% בפריון, וירידה של 1.83% בעלייה של 5 מ"צ. ואילו בסקטור השירותים לא חזויה ירידה בפריון גם בעלייה של 5 מ"צ.

מאגר מידע Lancet Countdown הבוחן הקשרים בין שינויי האקלים ובריאות בפרספקטיבה עולמית¹⁷⁶, מגדיר את ישראל בקבוצת המדינות המפותחות מאוד (לפי מדד HDI – Human Development Index¹⁷⁷), ומכאן, אובדן הכנסה כתוצאה מחום כאחוז ממוצע מהתמ"ג ב-2020 הינו 0.12% בסקטור השירותים, 0.06% בסקטור הייצור, 0.13% בסקטור הבנייה, ו-0.03% בסקטור החקלאות. המחקר מצוין כי טמפרטורות גבוהות עלולות להשפיע על היכולת (ability) של אנשים לעבוד, ומעריך את אובדן שעות עבודה (כמות) בישראל לפי שנים, כתוצאה מחשיפה לטמפרטורות גבוהות (טבלה 16). בנוסף, המחקר מדגיש שטמפרטורות גבוהות עשויות לגרום לירידה בתכיפות, משך וברצון לעסוק בפעילות גופנית. זאת ועוד, פעילות גופנית בטמפרטורות גבוהות עשויה להוות סיכון בריאותי, ולכן צפוי אובדן שעות פעילות (טבלה 17), כאשר הטמפרטורות הינן מעבר לסף שמבטיח פעילות בטוחה¹⁷⁸.

טבלה 16: אובדן שעות עבודה בישראל (במיליונים)¹⁷⁹

שנה	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
אובדן שעות עבודה (במיליונים), מתוך זה:	31	29	35	27	23	23	25	35	39	34	60	33	50	27	30	60	45	50	42	47	71
בענף השירותים												14.1	24	12	13.3	30.1	21.4	24.3	19.4	22.1	36.6
בענף הבנייה												8	9.9	6.5	7	12.4	10.6	11.1	10.2	11.2	14.9
בענף הייצור												9.1	13.1	7	7.5	14.3	11	12	10.2	11.2	16.1

טבלה 17: אובדן שעות של פעילות פיזית לאדם ליום כתוצאה מחום בישראל¹⁸⁰

שנה	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
אובדן שעות פעילות גופנית	0.9	0.8	1.2	0.7	0.5	0.5	0.5	0.8	0.9	0.8	1.6	0.7	1.4	0.5	0.5	1.5	0.9	1.2	0.7	0.9	1.6
ממוצע 10 שנים	0.83											0.99									
ממוצע 5 שנים	0.74					0.92					1.06										

¹⁷⁴ Zhao, M., Lee, J. K. W., Kjellstrom, T., & Cai, W. (2021). Assessment of the economic impact of heat-related labor productivity loss: a systematic review. *Climatic Change*, 167(1), 1-16.

¹⁷⁵ World Bank Group (2016). Roson, R., Sartori, m. Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP9 Database. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24643>

¹⁷⁶ Lancet Countdown (2019). <https://www.lancetcountdown.org/data-platform/climate-change-impacts-exposures-and-vulnerability/1-1-health-and-heat/1-1-1-heat-vulnerability>

¹⁷⁷ <https://hdr.undp.org/en>

¹⁷⁸ פעילות בטוחה מיוחסת לפעילות בטמפרטורה מתחת ל-28 מ"צ בהמלצת גופי רפואת ספורט בין-לאומיים. טמפרטורה זו נמדדת במדד שנקרא wet bulb globe temperature, ואשר משקלל טמפרטורה, לחות, מהירות רוח, זווית קרינת השמש וכיסוי עננים, ומודד עומס חום בשמש ישירה, בניגוד לאינדקס חום (heat index) המיועד לאזורים מוצלים.

¹⁷⁹ Lancet Countdown (2019). <https://www.lancetcountdown.org/data-platform/climate-change-impacts-exposures-and-vulnerability/1-1-health-and-heat/1-1-1-heat-vulnerability>

¹⁸⁰ Ibid.

מחקר ישראלי שבחן את ההשפעות של שינויי האקלים על ענף הביטוח והמשק הישראלי¹⁸¹ מצא שעלייה של מעלה אחת בטמפרטורה הממוצעת המקסימלית בישראל צפויה לגדול ב-0.4-0.8 מ"צ בעשור, אזי העלייה בהוצאות הביטוח החל בשנת 2030 צפויה לעלות בכ-5-8% ואילו עד לשנת 2050 עלייה זו צפויה לגדול בכ-9-15%. בהתאם לכך, צפויה עלייה במחירי הביטוח בשנת 2030 בכ-2%. לעומת זאת, צפויה ירידה בענף הביטוח בכמות ובתעסוקה של 0.5%, וירידה משמעותית בצריכה בענף של כ-2.5%.

בנק ישראל מצביע על חשיבות גבוהה מאוד של נושא שינויי האקלים למשק, עם אי-ודאות גבוהה, וסיכונים מגוונים¹⁸² עם זאת, הבנק לא אומד את הסיכונים הפיזיים¹⁸⁴ בשל מגבלת נתונים, אך מתריע שככל שההסתברות להתממשות סיכונים אלו תגדל – צפויות גם השלכות כלכליות, כגון עלייה בפרמיית הסיכון של המשק באופן שיקשה על תנאי ועלות המימון במשק, עלייה בהוצאות ענף הביטוח, ובתרחיש קיצון – אף לפגיעה ביכולת החזרת הלוואות ושחיקת השווי של תיק הבטוחות של נותני אשראי. בנק ישראל לא רואה כיום הסתברות ממשית להתממשות תרחיש שכזה בישראל בטווח זמן הקרוב, אך מדגיש שיש לתת את הדעת על קיום האפשרות הזו.

חשוב להדגיש כי מחקרים שונים ציינו כי שיטות המחקר ומסדי הנתונים המשמשים לחישוב הינם בעלי השפעה ניכרת על התוצאות. כך למשל, מחקר¹⁸⁵, שבחן ארבע מתודולוגיות שונות לכימות ההשפעות של חום על הפריון¹⁸⁶, מצא כי פערי התוצאות, בהינתן מתודולוגיות שונות ואמצעי אדפטציה שונים, בתוך אותו אזור בזמן נתון יכולים להגיע עד פי 7.4. מחקר אחר¹⁸⁷ שבחן שתי פונקציות חשיפה-תגובה אשר קושרות בין חום קיצוני לפריון בעבודה, מצא כי אי-הוודאות באשר לפונקציות שבהן השתמשו היא גדולה אף יותר מזו המיוחסת למודלים אקלימיים. המתודולוגיות השונות מביאות לתוצאות שונות, כך שמחקר שמיישם רק מתודולוגיה אחת הינו מוטא ואינו מביא לידי ביטוי את כל אי-הוודאות המיוחסת להשפעות שינויי האקלים על שוק העבודה. שיטה אחת שהמחקר מציג היא הערכת היחס בין טמפרטורה יומית מקסימלית לאובדן זמן עבודה, והשיטה השנייה מעריכה את הקשר בין תנאי אקלים יומיים ממוצעים (מדד המשקלל לחות, מהירות רוח, קרינה וטמפרטורת פני הקרקע) לבין פריון¹⁸⁸, כאשר האחרונה מעריכה אובדן שעות עבודה כפול, עם זאת, הנזק הכספי על פי שיטה זו הינו נמוך יותר (כיוון שמשמשים בנתוני שכר לאומיים ממוצעים, לעומת שימוש בנתוני ברמת המדינות השונות בארה"ב).

¹⁸¹ שכטר, מ., אילון, א., פלטיק, ר. דוידוביץ, א. (2013). השלכות שינויי האקלים הצפויים עד שנת 2030 על ענף הביטוח והמשק הישראלי. אוניברסיטת חיפה – המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה. הוגש למדען הראשי במשרד להגנת הסביבה.

¹⁸² פרופ' אמיר ירון, נגיד בנק ישראל, בוועידה הלאומית לאנרגיה של המכון הישראלי לאנרגיה וסביבה, מאי 2022. ישראל והאקלים – נקודת מבט כלכלית.

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/17-05-22.aspx>

¹⁸³ בנק ישראל (2022). ניתוח חשיפת מערכת הבנקאות לסיכון המעבר במסגרת סיכונים האקלים.

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/17-05-2022.aspx>

¹⁸⁴ הסיכונים הפיזיים נובעים מחשיפה לנזקים כתוצאה מתופעות אקלימיות אקוטיות, כגון גלי חום, שיטפונות, שריפות, וכו', וכן מנזקים כתוצאה מתופעות אקלימיות כרוניות שמתפתחות על פני הזמן, כגון מדבור ועליית מפלס פני הים.

¹⁸⁵ Zhao, M., Lee, J. K. W., Kjellstrom, T., & Cai, W. (2021). Assessment of the economic impact of heat-related labor productivity loss: a systematic review. *Climatic Change*, 167(1), 1-16.

¹⁸⁶ המתודולוגיות שנבחנו: human capital (HC) method, the econometric method (EM), the input-output (IO) method, and the computable general equilibrium (CGE) model.

¹⁸⁷ Zhang, Y., & Shindell, D. T. (2021). Costs from labor losses due to extreme heat in the USA attributable to climate change. *Climatic change*, 164(3), 1-18.

¹⁸⁸ Kjellstrom, T., Briggs, D., Freyberg, C., Lemke, B., Otto, M., & Hyatt, O. (2016). Heat, human performance, and occupational health: a key issue for the assessment of global climate change impacts. *Annual review of public health*, 37, 97-112.

סקטור התיירות הוא גם תורם מרכזי לשינויי האקלים וגם אחד מהסקטורים שהכי מושפעים מכך¹⁹⁰. תיירות ונופש הינן מסוג הפעילויות אשר נערכות כשגרה בסביבה הפתוחה, מכאן שטמפרטורה, משקעים ואור שמש הם הגורמים החשובים ביותר בתיירות, ולכן, השינויים במזג האוויר עשויים להשפיע על בחירות של תיירים לגבי יעד ומשך חופשתם, לשנות את האטרקטיביות של יעדים ומקומות שונים, ולהשפיע על הרווחיות של עסקים מבוססי תיירות, בעד 3.6%¹⁹¹. לטמפרטורה הייתה השפעה מובהקת על הוצאות התיירות, בניגוד למשתנים האחרים¹⁹² – עלייה בטמפרטורה במדינות קרות מובילה להגדלת ההוצאה התיירותית בקיץ ובסתיו, עם זאת, מדינות הים התיכון צפויות להיות פחות אטרקטיביות מאשר חלקים צפוניים של אירופה¹⁹³.

מרכז המחקר של האיחוד האירופי (JRC) במחקר מ-2014, בוחן את השפעות ההתחממות בשני תרחישים. הסימולציה לגבי הקיץ מתייחסת לעלייה בטמפרטורות (מ"צ) בשנים 2071-2100 לעומת 1961-1990, כפי שמתואר בטבלה 18 להלן.

טבלה 18: עלייה בטמפרטורות (במ"צ) באירופה בשנים 2071-2100 לעומת 1961-1990¹⁹⁴

אזור	תרחיש ייחוס (תרחיש A1B)	תרחיש 2 מ"צ
צפון אירופה	2.8	2.1
בריטניה ואירלנד	2.4	1.8
צפון-מרכז אירופה	3.1	2.2
דרום-מרכז אירופה	3.1	1.8
דרום אירופה	3.9	2.6
אירופה	3.3	2.4

לכל תרחיש מתוארת ההשפעה על ההוצאות לתיירות (מיליון אירו לשנה), כמתואר בטבלה 19 להלן.

¹⁸⁹ לא נמצאה בספרות אבחנה כמותית בין תיירות פנים לתיירות חוץ.

¹⁹⁰ Pröbstl-Haider, U., Mostegl, N., & Damm, A. (2021). Tourism and climate change—A discussion of suitable strategies for Austria. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 34, 100394.

¹⁹¹ Craig, C. A., & Feng, S. (2018). A temporal and spatial analysis of climate change, weather events, and tourism businesses. *Tourism Management*, 67, 351-361.

¹⁹² Wilkins, E., de Urioste-Stone, S., Weiskittel, A., & Gabe, T. (2018). Effects of weather conditions on tourism spending: implications for future trends under climate change. *Journal of Travel Research*, 57(8), 1042-1053.

¹⁹³ Amelung, B., Nicholls, S., & Viner, D. (2007). Implications of global climate change for tourism flows and seasonality. *Journal of Travel research*, 45(3), 285-296.

¹⁹⁴ Ciscar, J. C., Feyen, L., Soria, A., Lavalle, C., Raes, F., Perry, M., ... & Ibarreta, D. (2014). Climate impacts in Europe-The JRC PESETA II project. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC87011>

טבלה 19: ההשפעה על ההוצאות לתיירות באירופה (מיליון אירו לשנה)¹⁹⁵

	EU	Northern Europe	UK & Ireland	Central Europe North	Central Europe South	Southern Europe
Control	334,810	30,882	46,626	109,440	89,101	58,762
Reference change (%)	-5	-1	1	-4	-6	-11
2°C change (%)	-5	-1	0	-4	-5	-11

הבנק העולמי במחקר רחב¹⁹⁶, מבצע הערכה של פונקציית הנזק של שינויי האקלים (באופן רחב, לא חום בלבד) על סקטור התיירות בהתאם לעלייה בטמפרטורות. המחקר מצא שבישראל צפויה ירידה בתזרים המט"ח (ביחס לתמ"ג 2011) של 0.29%, 0.54%, 0.76%, 0.92%, 1.04% לעלייה של מעלה, שתיים, שלושה, ארבע וחמש מ"צ, בהתאמה.

בישראל, תיירות הינה גורם מרכזי בתכנון ההתפתחות הכלכלית העתידית וחום יכול להשפיע על ההעדפות הצרכנים בכלל, ועל הפעילויות התיירותיות בפרט¹⁹⁷. הקשר המידי בין האקלים לתיירות מתבטא בעיקר בתיירות הפנים, שכן התיירות בין-לאומית הינה פחות ספונטנית, ובדרך כלל כרוכה בהזמנה מראש, עם זאת, בטווח הארוך, אקלים חם יותר יוביל לירידה בתיירות הבין-לאומית לישראל¹⁹⁸. בנוסף, נמצא¹⁹⁹ שפרמטרים שקשורים למזג האוויר הינם בעלי השפעה מובהקת סטטיסטית על הביקורים בפארקים הלאומיים בישראל, הן של תושבים והן של תיירים, אך עוצמת ההשפעה משתנה בין האתרים השונים ובין המבקרים השונים.

השפעות שינויי האקלים על תשתיות

ניתוח מקיף שבוצע בקליפורניה²⁰⁰ לגבי סיכונים לתשתיות (כבישים, חשמל, מכוני טיהור שפכים, תקשורת, רצועת החוף) מתופעות של גלי חום, שריפות, עליית מי ים והצפות, ב-2050 ו-2100, בשני תרחישים (B1, A2), בחן ארבע השפעות כלכליות – עלות החלפה, שינויים בעלויות התפעול (למשל, עלויות אנרגיה לבנייה), השפעות על הכנסות פיסקאליות והפרעה בפעילות הכלכלית (נזקים חברתיים וסביבתיים לא נכללו בניתוח בשל חוסר מידע). המתודולוגיה כוללת הגדרת הסיכונים על פי היחס בין **תוצאה** (מוגדרת כרמת ההשפעה הכלכלית השלילית שצפויה לנבוע מפגיעות של נכס למשתנה אקלים²⁰¹) לבין **הסבירות** שהאירוע האקלימי אכן יקרה²⁰². ממצאי הניתוח מצביעים על השפעות הנובעות מהצפות נהרות ושריפות כהשפעות המרכזיות לתשתיות, ואילו אירועי חום מקבלים ערכי נזק כלכליים נמוכים מאוד או כלל לא.

¹⁹⁵ Ciscar, J. C., Feyen, L., Soria, A., Lavalle, C., Raes, F., Perry, M., ... & Ibarreta, D. (2014). Climate impacts in Europe-The JRC PESETA II project. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC87011>.

¹⁹⁶ World Bank Group (2016). Roson, R., Sartori, m. Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP9 Database. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24643>

¹⁹⁷ https://www.gov.il/BlobFolder/reports/plan_2019/he/plan_workPlan2019.pdf

¹⁹⁸ משרד התיירות (2019). שיא כל הזמנים בכניסות תיירים לישראל ב-2019!

<https://www.gov.il/he/departments/news/dovrut-1100-0005-2019-660031>

¹⁹⁹ Teitler Regev, S., & Palatnik, R. R. (2022). Implications of Climate Change on Outdoor Recreation: The Case of National Parks in Israel. *Earth*, 3(1), 345-362.

²⁰⁰ County of Santa Clara (2015). SILICON VALLEY 2.0. Climate Adaptation Guidebook. https://sustainability.scc.gov/sites/g/files/exjcpb976/files/documents/1_150803_Final%20Guidebook_W_Appendices.pdf

²⁰¹ הנזק מבוסס ביחס לתקופת השפל שחוזה האזור ב-2008-2009 שם היה אובדן של כ-8% מהמשרות. אין התייחסות לנושא התעסוקה אלא כפרוקסי לנזק כלכלי גבוה – נזק של 8% ויותר מוגדר כנזק גבוה מאוד, 1.6-8% נזק גבוה, 0.3-1.6% נזק מתון, 0.1-0.3% נזק נמוך ועד 0.1% נזק נמוך מאוד.

²⁰² הסבירות מחושבת על ידי מדעני אקלים – מסבירות רחוקה (פחות מ-33%) ועד קרוב לוודאי (75% ומעלה).

מחקר מקיף שבוצע באנגליה²⁰³ מתייחס לסוגיה של פגיעה במבנים – שקיעה כתוצאה מבצורת וקרקע יבשה, לחות כתוצאה מהצפות, גשם חזק, ונזקים קונסטרוקטיביים כתוצאה מרוחות. עם זאת, ההשפעות הן ברמת אי-ודאות גבוהה, והעדויות לכך מוגבלות. נזקי שקיעה כתוצאה מחום (עמיד חם ויבש מגביר את התופעה) הינם בעלי תלות גבוהה בסוג הקרקע. לעניין בתי מגורים באנגליה בתרחיש בינוני, הנזק הצפוי ב-2050 הינו 50 מיליון ליש"ט לשנה (מונחי 2010), לעומת נזקים של 20 מיליון בשנת 2020.

השפעות שינויי האקלים על התחבורה

השפעות של חום על תחבורה מתמקדות בעיקר במטוסים, במסילות רכבת ובגשרים²⁰⁴, אך מזג אוויר חם יכול להשפיע גם על תחבורת כבישים במספר אופנים – שיבושים באספקת החשמל לתחבורה חשמלית, צריכת דלק מוגברת בשל שימוש במיזוג אוויר ברכב ואף כשלים במערכות המיזוג (קשיים בתפקוד מעל 35 מ"צ), קלקול כלי רכב ואוטובוסים.

נמצא שיש קשר בין זמני עיכוב ברכבות לבין ימים חמים, ובעיקר לרצף של ימים חמים. לעומת זאת, שירותי אוטובוסים לא נפגעו ואף היוו גיבוי לרכבות. מחקר שבוצע במלבורן, אוסטרליה²⁰⁵, הצביע על כך שערך הזמן האבוד כתוצאה מעיכובים בתנועת הרכבות בעיר נע בטווח של 44-88% משכר הנוסע (בזמן העיכוב). המחקר תרגם זאת ל-0.3 דולר אוסטרלי (מונחי 2012) לכל דקת עיכוב. טמפרטורות גבוהות יכולות לגרום להתרחבות תרמית בכבישים ובמסילות ברזל, המובילה לנזק או דורשת הפחתת מהירות נסיעה²⁰⁶. כמו כן, טמפרטורות גבוהות יותר בתוך ציוד ומכשירים המוגנים במארזים, כגון התקני בקרת תנועה ובקרת אותות במערך הרכבות, עלולות לגרום לכשל בציוד.

בנוסף, חום משפיע על הבחירה בין אמצעי תחבורה שונים, עם העדפה מוגברת לשימוש ברכב פרטי, במקום בתחבורה ציבורית המשלבת גם קטעי הליכה והמתנה בתחנות, בחירה אשר מגדילה את ההוצאה הביתית על תחבורה²⁰⁷.

השפעות שינויי האקלים על המרקם העירוני הייחודי

חום משפיע על הבחירות שלנו לגבי איך (והאם) נרצה להעביר את הזמן, ואף משפיע על מצב הרוח שלנו. כאשר חם מידי, לא ניתן לשחק בחוץ ופחות נפגשים עם הקהילה, לעיתים אפילו עד בידוד חברתי אשר יכול להוביל לחולי ותמותה²⁰⁸.

נמצא²⁰⁹ כי הטמפרטורות משפיעות על ההתנהגות הצרכנית, אך ההשפעה מוגבלת לתזמון ולא לסך הצריכה – לטמפרטורה השפעה מוגבלת על אילוצי התקציב ולכן היא אינה משפיעה על דפוסי קנייה ארוכי טווח (מזג אוויר חם עשוי להגביר את הקניות בחודש או רבעון מסוים, אך בעקבותיו תגיע תקופה שתקזז את הגידול). על אף שצפויה עלייה בהכנסות לעסקים שמוכרים מוצרים או שירותים הרצויים יותר במזג אוויר חם (כגון, משקאות קרים, גלידות, בריכות ציבוריות), לא נמצא בספרות כימות כלכלי של הנושא.

²⁰³ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

²⁰⁴ First Street Foundation (2022). The 6th National Risk Assessment - Hazardous Heat. <https://firststreet.org/research-lab/published-research/article-highlights-from-hazardous-heat/>

²⁰⁵ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

²⁰⁶ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

²⁰⁷ Lovecchio, J., Basic, G., & Pawlowski, T. (2020). Urban heat, vulnerability, and the public realm: lessons from Tel Aviv-Yafo and implications for COVID-19 recovery. *Smart Sustain Fair Cities*, 40, 108-136.

²⁰⁸ Klinenberg, E. (2002) *Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago*. Chicago: University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/H/bo20809880.html>

²⁰⁹ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

ניתן היה לייחס שינויים ופגיעה במרקם עירוני לתנודות בהיקף פעילות המסחר, התרבות, הספורט והפנאי במרחב הציבורי. עם זאת, לא נמצאו מחקרי נכונות לשלם אשר בוחנים את ההשפעות על איכות החיים כתוצאה מטמפרטורות גבוהות באמצעות הנכונות לשלם כדי להימנע מאי-נוחות. למעשה, הסוגיה של אי-נוחות בבניינים נכללת תחת המדד של עלויות נוספות של מיזוג אוויר.

השפעה כלכלית נוספת קשורה לעלויות האדמיניסטרטיביות של העירייה בגין טיפול בתלונות על חום (אולם, חשוב לציין כי לא נמצא כימות בספרות).

תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי פיתוח כלכלי

תיירות

תיירות ונופש הינן מסוג הפעילויות אשר נערכות כשגרה בסביבה פתוחה ולכן מאפייני אקלים כטמפרטורה, משקעים ואור השמש הם גורמים חשובים ביותר העשויים להשפיע על בחירת היעד ומשך החופשה של התיירים, מקומיים וזרים. בניגוד לקטגוריות הקודמות שסקרנו, בקטגוריית התיירות, לא נמצא ביסוס מחקרי מספק לאומדנים כמותיים בנוגע להשפעת ההתחממות על הביקוש לשירותי תיירות. כמו כן, לא נמצא בסיס מחקרי מוצק לאמידה הכלכלית, כך שקטגוריה זו נוטה לסיווג כהשפעה "לא ידועה-לא ידועה" בנוגע להתחממות האקלים.

הנחות עבודה:

- מיצוי סקר הספרות הניב אומדנים ראשוניים לפגיעה ברווחיות עסקים מבוססי תיירות באזורים חמים כבר היום אשר מראים ירידה של עד 3.6%. מחקר אחר מראה שבתרחיש עליית טמפרטורה של 2 מ"צ צפויה פגיעה של 11% בהוצאות התיירות באזור דרום אירופה.
 - על מנת לשמור על מהימנות הניתוח הוחלט על ערכי פגיעה שמרניים יחסית העומדים על 4% בתרחיש RCP4.5, ועל 7% בתרחיש RCP8.5.
 - הנתונים אודות התיירות בתל אביב-יפו נלקחו מתוך נתוני העירייה לשנת 2019.
 - הניתוח הכלכלי הינו במונחי רמות מחירים וביקושים של שנת 2019 (ללא השפעות הקורונה).
- טבלה 20 להלן מציגה את הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו, באלפי ש"ח (רמת מחירי 2019), בשנת 2050, כתוצאה מפגיעה בפדיונות ענף התיירות בשל עליית הטמפרטורה, בשני תרחישים שונים.

טבלה 20: הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו בשנת 2050, בשל ירידה בפדיונות התיירות (אלפי ש"ח – מחירי 2019)

תרחיש RCP8.5	תרחיש RCP4.5	
7%	4%	היקף הפגיעה הישירה בפדיון ענף התיירות
187,792	93,896	אומדן הנזק השנתי (אלפי ש"ח)

מרקם עירוני ייחודי

בקטגוריה זו לא נמצא ביסוס מחקרי מספק לאומדנים כמותיים המאפשרים כימות כלכלי של הנזק כתוצאה מעליית הטמפרטורה, כך שמדובר בהשפעות המסווגות על ידינו כ"לא ידועות-לא ידועות" קלאסיות. עם זאת, נושאים משיקים נחקרו ברמה האיכותנית כאובדן רווחה בהקשר של השפעה על מצב רוח, העדפות בילוי וכדומה.

הנחות עבודה:

- בסקר הספרות (היבטי בריאות ורווחה) נמצא אומדן יחיד ממחקר צרפתי המבטא נזקים לא מוחשיים לאיכות חיים (well-being) בשל הגבלת הפעילות הנובעת מחום קיצוני עבור האוכלוסייה המושפעת. ערך הנזק הוערך בכ-43 אירו לאדם "מושפע" בשנה.
- הנחת העבודה היא כי 20% מהאוכלוסייה תושפע מהגבלת פעילות.

- תוצאות המחקר הותאמו לנתוני העיר תל אביב-יפו תוך הפנמת תיקון הערך בהתאם לתמ"ג, ומספר הימים המגבילים בכל תרחיש.

טבלה 21 להלן מציגה את הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו, באלפי ש"ח, בשנת 2050, כתוצאה מהגבלת הפעילות בשל עליית הטמפרטורה, בשני תרחישים שונים.

טבלה 21: הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו בשנת 2050, בשל הגבלת פעילות (אלפי ש"ח)

תרחיש RCP8.5	תרחיש RCP4.5	אומדן הנזק השנתי מהגבלת פעילות (אלפי ש"ח)
102,988	58,516	

הכפלת מספר ימי ההגבלות החמורות תעלה את הערך לכ-117 מיליון ש"ח בשנה בתרחיש RCP4.5, ו-206 מיליון ש"ח בתרחיש RCP8.5.

תוצאות התחשיב הכלכלי (היבטי פיתוח כלכלי)

הנזק העירוני בהיבטי פיתוח כלכלי כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב-153 מיליון ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP4.5 – 94 מיליון ש"ח כתוצאה מפגיעה בתיירות העיר, ועוד 59 מיליון ש"ח בשל הגבלת פעילות התושבים.

הנזק העירוני בהיבטי פיתוח כלכלי כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב-291 מיליון ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP8.5 – 188 מיליון ש"ח כתוצאה מפגיעה בתיירות העיר, ועוד 103 מיליון ש"ח בשל הגבלת פעילות התושבים.

התחשיב הכלכלי כולל נזקים כתוצאה מפגיעה צפויה ברווחיות עסקים מבוססי תיירות (אשר אינה מבטאת את הפגיעה המלאה בשל שינוי בביקוש לשירותי תיירות), וכן כימות של נזקים לא מוחשיים לאיכות חיים בשל הגבלת הפעילות, אך אינו כולל כימות נזקים צפויים לתשתיות ולשירותי תחבורה, ונזקים הקשורים לירידה בביקושים לשטחי רחוב ולשינויים במרקם העירוני הייחודי.

היבטי אקולוגיה

למערכת האקולוגית יש תפקיד חשוב בסיוע לערים להפחית ולהסתגל לשינויי האקלים²¹⁰. לאיכות וכמות מערכות אלו יש גם יתרונות חברתיים וכלכליים – צדק חברתי, כלכלה ירוקה, פיתוח בר קיימא, בריאות ורווחה ועוד. כמעט לכל השינויים באקלים יש השפעות ישירות או עקיפות על המערכות האקולוגיות והמגוון הביולוגי ושירותי המערכת שהם מספקים לבריאות ורווחת האדם בערים, והם מגדילים את פגיעותן של מערכות אלו. ברמת אוכלוסיית הפרט והמינים, תהליכים פיזיולוגיים רבים כמו פוטוסינתזה, נשימה, צמיחה ופריחה של צמחים מושפעים משינוי הטמפרטורה. טמפרטורה מוגברת יכולה להשפיע על קצב הגדילה והרבייה באופן חיובי או שלילי, ובמקביל גם לגרום למגוון השפעות על מחזורי ביו-גאוכימיים והידרולוגיה. טמפרטורות גבוהות יותר יכולות גם להוביל ללחץ פיזיולוגי מוגבר על חיות הבר, ולהשפיע על התנהגותן ורבייתן. עם זאת, קשה מאוד להעריך את ההשפעות על המערכות האקולוגיות בעיר בשל השפעות חוזרות וצולבות, כגון, אקלים, ביו-גאוכימיה, הידרולוגיה, גידול אוכלוסייה, עיור ופיתוח, תפיסות והתנהגות אנושית ועוד. בנוסף, סיכונים אלו אף צפויים להחמיר בשל התפשטות העיר לתוך שטחים פתוחים.

מחקר של מרכז המחקר של האיחוד האירופי (JRC) משנת 2018²¹¹ מעריך את אובדן בתי הגידול באירופה, כאשר האזור הים תיכוני נמצא כביתם של כמחצית מזני הצמחים והחיות ויותר ממחצית בתי הגידול באיחוד האירופי, אך הוא מאוים בשל התרחבות של האזורים הצחיחים, ועשוי להתכווץ בכ-16% עד סוף המאה (RCP8.5). רק 71% מהאזור הים תיכוני יישאר יציב (ו-91% במקרה של תרחיש 2 מ"צ). בנוסף, אקלים ים תיכוני עשוי להתרחב לאזורים אחרים (בעקבות התחממות והתייבשות), כ-50% מהשטח הקיים כיום. האזור הצחיח עשוי להכפיל את עצמו (128% אבל עלייה של 14% בלבד בתרחיש 2 מ"צ) ולהביא לירידה במגוון הביולוגי ואף הכחדת של מינים שלא יוכלו להתמודד עם השינוי, ולהפחתה בשירותי המערכת. ככלל, אזורים המיועדים לתהליכי אדפטציה מרוכזים בשטחים מוגנים (שמורות טבע וכד') החיוניים לשימור מגוון ביולוגי.

מחקר מקיף שבוצע באנגליה²¹² הציג מספר ממצאים לגבי הנושא של השפעות אקולוגיות, כפי שיפורט להלן, עם זאת, הממצאים אינם מספקים תמונה רחבה מספיק ולכן נושא זה לא נכלל במידול הכלכלי. ישנם מחקרי 'נכונות לשלם' בגין שאלות קונקרטריות, למשל, לגבי מניעת צניחה בשירותי האבקה, נמצא שהייתה נכונות לשלם 1.37 ליש"ט לשבוע למשק בית (מונחי 2010), ולגבי שירותי תרבות, נמצאה תרומה ממוצעת של 7.5 ליש"ט לשנה למשק בית (מונחי 2018) לצורך שימור הסביבה. גישה אחרת ניסתה לגזור את הנזק מאובדן המגוון הביולוגי באמצעות פונקציה שמקשרת הוצאות על שמירת הסביבה ביחס לשינויי האקלים, ונמצא כי תחת תרחישי RCP6 ו-RCP8.5, העלות לכל מדינות האיחוד האירופי הייתה 0.5% ו-1.1% מהתמ"ג, בהתאמה. חישוב נוסף גזר את הנזק לאנגליה, כ-100 מיליון ליש"ט בשנה (בהתאם להיקף השטח שלה). מחקר אחר²¹³ מציג ערך ממוצע של מחקרי נכונות לשלם בעבור שימור מגוון ביולוגי באנגליה של 0.205% תמ"ג לנפש, וכן מצביע על אובדן רווחה בשנת 2050 בעקבות השפעות על בתי גידול ומינים שונים של 0.06%, ו-0.07% מהתמ"ג – לתרחיש המיישם מיטיגציה נרחבת (דומה ל-RCP2.6) ותרחיש מדיניות

²¹⁰ UCCRN (2018). Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., and Ali Ibrahim, S. (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. <https://uccrn.ei.columbia.edu/arc3.2>

²¹¹ Ciscar, J. C., Feyen, L., Ibarreta, D., & Soria, A. (2018). *Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PE-SETA III project*. Publications Office of the European Union, JRC Science for Policy Report EUR, 29427. https://www.preventionweb.net/files/61911_pesetaiiifinalreport.pdf

²¹² Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). *Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3*. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

²¹³ Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment (2022). *What will climate change cost the UK? A study of climate risks, impacts and mitigation for the net-zero transition*. London School of Economics and Political Science. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2022/05/What-will-climate-change-cost-the-UK-risks-impacts-mitigation.pdf>

קיימת (דומה ל-RCP8.5), בהתאמה. מחקר נוסף שבחן את השפעות שינויי האקלים על שירותי מערכת באנגליה²¹⁴, עסק בהיבטים של מים נקיים, חיות בר, ומלאי הפחמן של הקרקע והצמחייה, הרלוונטיים יותר לשטחים פתוחים מאשר לסביבה עירונית.

מחקר שבוצע במלבורן, אוסטרליה²¹⁵, הצביע על השפעות כלכליות שונות – עלייה בדרישה להשקיה, עלויות לעצים שנפגעו (תחזוקה לתמיכה בעצים, אובדן נוחיות לקהילה, קיבולת קירור מופחתת, השפעות שליליות על חיות בר מקומיות תלויות, הפחתה בשירותי מערכת – סילוק זיהום אוויר, קיבוע פחמן, טיפול בנגר), השפעות שליליות על חיות מחמד המובילות להגדלה בעלויות לטיפול וטרינרי. עם זאת, כומתו העלויות של תוספת השקיה ותמותת עצים בלבד. המחקר הניח שלא יהיה מחסור במים בשל זמינות מים מותפלים (מצב דומה למצב בישראל) ושהעצים 'יטופלו' באמצעות הגברת ההשקיה. העלייה בדרישה להשקיה מחושבת כ-0.863 ליטר ליום לכל מעלה (מתייחס לעץ בעל דיות נמוכה בשל הזנים המקומיים שביער העירוני במלבורן), ביחס למספר הימים מעל 30 מ"צ, וכתלות במחירי המים. על אף שלא נמצאו עדויות הקושרות תמותת עצים לחום, המחקר העריך אובדן של 0.1% מהעצים כל שנה כתוצאה מלחצי חום, כאשר החישוב מעריך עלות של עץ בכ-8,125 דולר אוסטרלי (מונחי 2012), והוא לוקח בחשבון גם את העצים שעתידים להישתל בעיר בעתיד.

במחקר של פרויקט COACCH נמצא כי צמחים נחשבים יותר רגישים מבעלי חוליות, בחלקו בשל יכולת מופחתת להסתגל, ומכאן הסיקו ירידה במגוון הצמחים של 25-30%, וירידה של 10-20% במגוון בעלי החוליות בתרחיש התחממות של 4 מ"צ²¹⁶.

בבוסטון נמצא כי עם העלייה בטמפרטורה ישנה גם עלייה פוטנציאלית בתמותת עצים, כאשר כל אובדן של כיסוי חופה או שטח ירוק תורם לתופעת אי החום העירוני, לאיכות אוויר מופחתת, לנגר מוגבר, ולירידה באיכות החיים של התושבים²¹⁷.

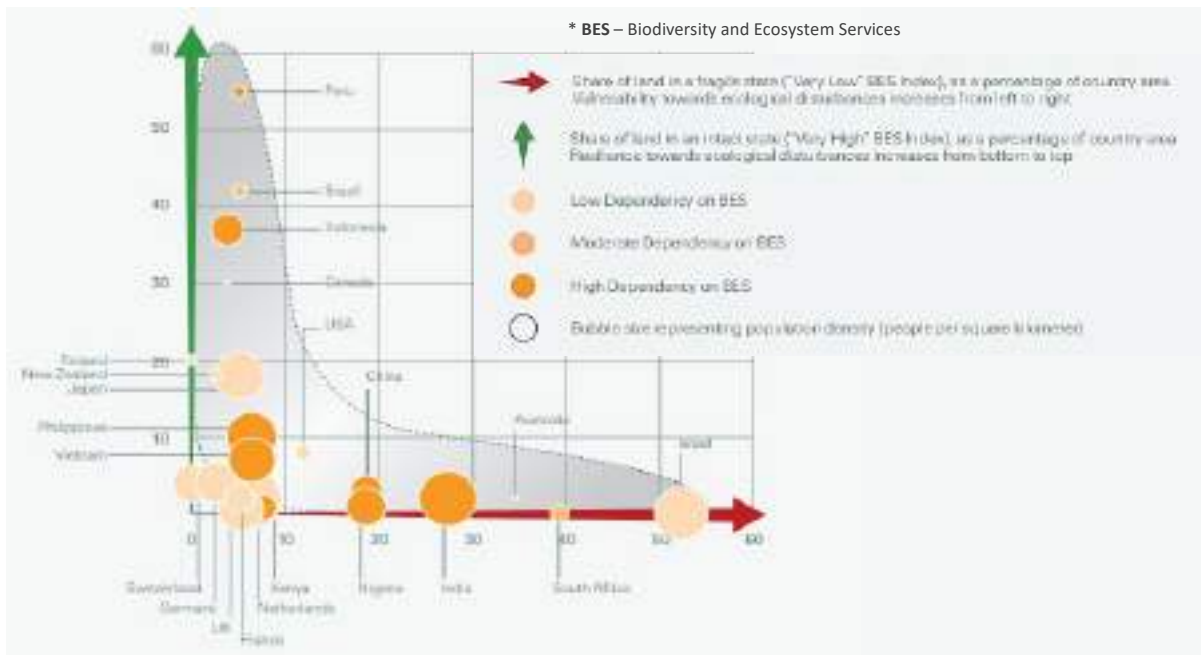
מחקר מקיף אשר בחן היקף שטחים במדינות שונות בעולם הנמצאים במצב פגיע מבחינת מגוון ביולוגי ושירותי מערכת, מצא שבישראל יותר ממחצית משטח המדינה נמצא במצב פגיע. עם זאת, התלות של כלכלת ישראל, כמו גם של מדינות מפותחות אחרות (שווייץ, גרמניה, בריטניה, צרפת, הולנד ועוד), בשירותי מערכת אקולוגית הינה נמוכה באופן יחסי למדינות אחרות (למשל, מדינות שבהן אחוז גבוה של ייצור חשמל הידרואלקטרי, או מדינות שבהן אחוז ניכר מהתזונה מגיע מצייד או דייג), כמתואר באיור 6 להלן.

²¹⁴ AECOM (2015). Assessment of climate change impacts on UK natural assets. <https://www.theccc.org.uk/publication/aecom-assessment-of-climate-change-impacts-on-uk-natural-assets/>

²¹⁵ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

²¹⁶ COACCH. <https://www.coacch.eu/>

²¹⁷ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf



איור 6: היקף שטח פגיע ותלות של מדינות שונות בשירותי מערכת אקולוגית²¹⁸

עם זאת, נמצא כי בסביבה עירונית ישנה חשיבות רבה לקיומם של שטחים פתוחים ירוקים לצורך איזון הטמפרטורות. מחקר²¹⁹ שהעריך את העומס התרמי במונחי טמפרטורת פני הקרקע בארבע שימושי קרקע עירוניים שונים בתל אביב-יפו (מגורים ירוקים, מגורים, פארקים ואזורים תעשייתיים), מצא שבאזורים התעשייתיים טמפרטורת הקרקע הייתה הגבוהה ביותר שכן צמחייה היוותה רק 1% מהשטח הפתוח, בעוד שבאזורים ירוקים נצפתה טמפרטורת הקרקע הנמוכה ביותר – אזורי מגורים ירוקים (אזורים עם אחוז כיסוי גבוה של צמחייה) ופארקים ציבוריים קטנים עד בינוניים (2-40 הקטר) היו בעלי עומס תרמי דומה, כאשר באזורי המגורים הירוקים טמפרטורת הקרקע הייתה נמוכה בחצי מעלה בלבד. הפארקים הציגו טמפרטורת קרקע גבוהה מהצפוי כנראה בשל שימוש לא יעיל בשטח לצמחייה, עם יחס נמוך של כיסוי צמחייה לשטח פתוח (בגינות הפרטיות הצמחייה הייתה צפופה יותר, אולי בגלל השקיה טובה יותר), ובנוסף, נמצאה השפעה למיקום – בבישים ראשיים או חניונים סמוכים לפארקים קטנים מורידים את ההשפעה המקררת שלהם. פארקים עירוניים יכולים לקרר את הסביבה ב-1.5-3 מ"צ, תלוי בזמן ביום²²⁰, בגודל הפארק ועיצובו, כיסוי הצמרות וסוגי הצמחייה. פארקים גדולים (מעל 150 הקטר) הם בעלי השפעה תרמית ניכרת יותר²²¹, ובעלי פוטנציאל השפעה בטווח של עד 1,000 מ' (הטמפרטורה עולה ככל שמתרחקים מהפארק). ואילו לפארקים קטנים יש בעיקר השפעה מקומית מקררת.

²¹⁸ Swiss Re Institute (2020). Biodiversity and Ecosystem Services – A business case for re/insurance. [swiss-re-institute-expertise-publication-biodiversity-and-ecosystem-services.pdf \(swissre.com\)](https://www.swissre.com/insights/publications/biodiversity-and-ecosystem-services.pdf)

²¹⁹ Rotem-Mindali, O., Michael, Y., Helman, D., & Lensky, I. M. (2015). The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing. *Applied Geography*, 56, 145-153.

²²⁰ Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and buildings*, 31(3), 221-235.

²²¹ Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning: the example of Lisbon (Portugal). *Landscape and urban planning*, 90(1-2), 56-65.

²²² Ren, Z., He, X., Zheng, H., Zhang, D., Yu, X., Shen, G., & Guo, R. (2013). Estimation of the relationship between urban park characteristics and park cool island intensity by remote sensing data and field measurement. *Forests*, 4(4), 868-886.

חשיבותם של השטחים הפתוחים הירוקים, מעבר לתרומתם להפחתת הטמפרטורה, נעוצה בהשפעה החיובית שלהם על הבריאות הפיזית של האוכלוסייה²²³, והאפשרויות שהם יוצרים לפעילויות פנאי ואינטראקציות חברתיות. באופן כזה שיצירת שכונות ירוקות ואיים ירוקים מקררים תוך מקסום השימוש בשטחים הפתוחים, משמרת איכות חיים גבוהה.

תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – היבטי אקולוגיה

כמעט לכל השינויים באקלים יש השפעות ישירות או עקיפות על המערכות האקולוגיות והמגוון הביולוגי ועל שירותי המערכת שהם מספקים לבריאות ורווחת האדם בערים, כגון, איזון טמפרטורות, שירותי פנאי – פעילות גופנית ופעילויות חברתיות, חינוכיות ותרבותיות, איכות חיים ועוד. עם זאת, קשה מאוד להעריך את ההשפעות על המערכות האקולוגיות בעיר, וקשה אף יותר לייחס ערכים כלכליים לנזקים ישירים ועקיפים אלו.

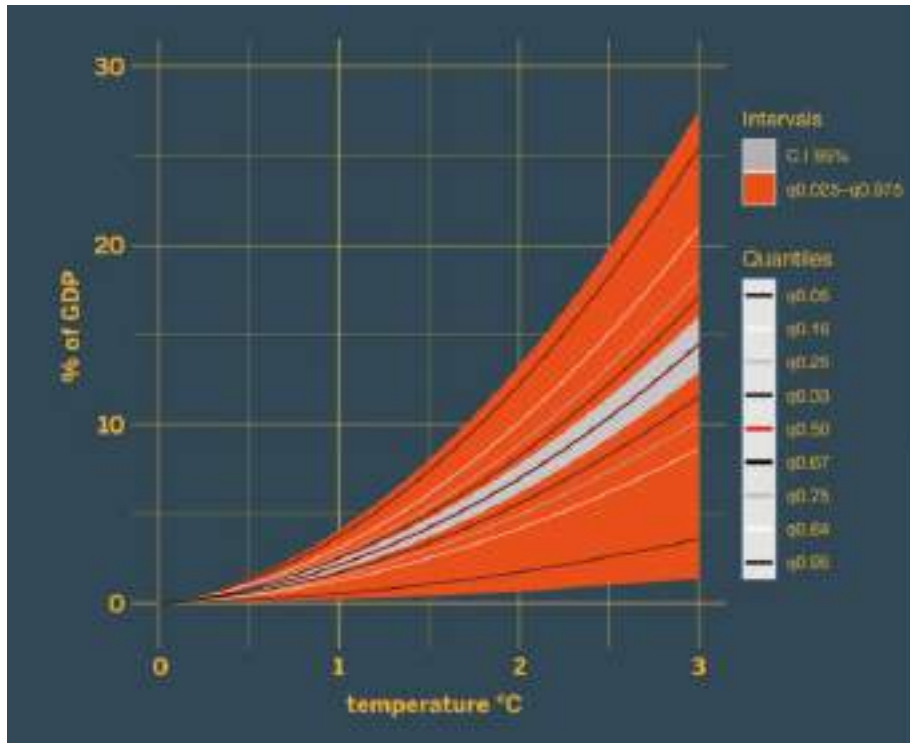
בהיעדר ביסוס מחקרי מוצק, ומתוך גישה שמרנית לצורך הגדלת רמת מהימנות התחשיב, **התחשיב הכלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו אינו כולל נזקים צפויים לטבע ולאדם בשל השפעה על מערכות אקולוגיות על אף התפקיד החשוב שיש למערכות אלו בסיוע להפחתה ולהסתגלות לשינויי האקלים.**

²²³ Zhou, X., & Rana, M. P. (2012). Social benefits of urban green space: A conceptual framework of valuation and accessibility measurements. *Management of Environmental Quality: An International Journal*.

שינוי בתוצר המקומי הגולמי

המדד המקובל כיום לרמתה הכלכלית של מדינה מסוימת הינו התמ"ג, שבפועל משמש כאומדן לרמת החיים ורווחתה של המדינה. התמ"ג משקף את סך הערכים הכספיים של כל המוצרים והשירותים המיוצרים בשנה נתונה, כשצמיחה מוגדרת כגידול בתמ"ג. על אף ההסכמה כי מדידת הרווחה הכלכלית על פי נתון זה לוקה בחסר זהו המדד המקובל ביותר להשוואת כלכלות בין נקודות זמן וגאוגרפיות שונות, כמובן תוך התאמה למספר הנפשות בכלכלה (תמ"ג לנפש).

הנושא של השפעות שינויי האקלים על התמ"ג העולמי, האזורי או המדינתי נבחן במספר רב של עבודות עם מגוון רחב של תוצאות. ככלל, ככל שהשינוי בטמפרטורות הוא גדול יותר כך גוברת אי-הוודאות וגדל טווח השינוי הצפוי (ראו איור 7).



איור 7: אובדן תמ"ג עולמי כולל טווח אי-וודאות כפונקציה של השינוי בטמפרטורה²²⁴

טבלה 22 להלן מפרטת שורה של הערכות על אובדן התמ"ג שבוצעו בעולם. מההערכות עולה כי אזורי המזרח התיכון ואפריקה צפויים לחוות את אובדן התמ"ג הגבוה ביותר בעולם, למעט אזור דרום מזרח אסיה²²⁵. ובנוסף, הסיכון הנובע מגלי חום הינו משמעותי יותר מבאזורים אחרים, ומגיע לכ-40% מכלל הנזק הצפוי במזרח התיכון בשנת 2050 תחת תרחיש RCP4.5²²⁶. חלק מהעבודות מפרטות את השנה והתרחיש אליו מתייחסת ההערכה, וחלק מהעבודות מתייחסות רק לעלייה בטמפרטורה הממוצעת, בלי לציין באיזה שנה עלייה זו צפויה להתרחש.

²²⁴ COACCH. <https://www.coacch.eu/>

²²⁵ Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

²²⁶ S&P Global (2022). Weather Warning: Assessing Countries' Vulnerability To Economic Losses From Physical Climate Risks. <https://www.spglobal.com/ratings/en/research/pdf-articles/220427-economic-research-weather-warning-assessing-countries-vulnerability-to-economic-losses-from-physical-clim-101529900>

מההערכות עולה כי תחום הבריאות, ובעיקר תמותה בשל חום קיצוני, מהווה השפעה דומיננטית בהערכות, כך למשל, על פי המחקר של הבנק העולמי הוא מהווה כ-57% מסך ההשפעה, על פי הנציבות האירופית ומרכז המחקר של האיחוד האירופי זוהי הקטגוריה בעלת ההשפעה המשמעותית ביותר במרכז ודרום אירופה²²⁷ (יותר ממחצית מכלל ההשפעות), כאשר בדרום אירופה (אגן הים התיכון) קטגוריית התמותה לבדה מביאה לאובדן תמ"ג של כ-3% בתרחיש החמור ולאובדן של כ-1.5% מהתמ"ג בתרחיש החמור פחות. עוד נמצא כי לטמפרטורה השפעה לא-ליניארית על ייצור כלכלי, כך שמקסימום התוצר (תמ"ג לנפש) מתקבל בטמפרטורה של 13 מ"צ²²⁸. בטמפרטורה גבוהה מהאופטימום – עלייה של כל מעלה מורידה את הייצור הכלכלי ב-1.7%-1.

יש לתת את הדעת לכך שההערכות הן מצד אחד מכלילות – מתייחסות לכלל או למספר תופעות של שינויי אקלים ולא להשפעות החום בלבד, ומצד שני חלקיות – הן בשל אי-הוודאות המאפיינת תרחישים ארוכי טווח הנוגעים לשינויי האקלים, והן כיוון שהן לא כוללות את כל ההשפעות האפשריות (ראו פירוט בהמשך בפרק 'מגבלות המחקר'). בהחלט יתכן כי ההשפעות המצרפיות של שינויי האקלים על הכלכלה יהיו חמורות אף יותר מהערכות אלו, בפרט ברמות הגבוהות יותר של התחממות.

²²⁷ לעומת השפעה דומיננטית של הצפות בצפון אירופה ובריטניה.

²²⁸ Carleton, T. A., & Hsiang, S. M. (2016). Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304), aad9837. https://gspp.berkeley.edu/assets/uploads/research/pdf/CARLETON_HSIANG_SCI-ENCE_2016.pdf

טבלה 22: סקירת הערכות על אובדן התמ"ג הצפוי כתוצאה משינויי האקלים

מקור	אזור המחקר	השפעות שנכללו בהערכה	שנה אליה מתייחסת ההערכה	תרחיש	אובדן תמ"ג צפוי
הבנק העולמי ²²⁹		עליית מפלס הים, הפריון בחקלאות, השפעות החום על פריון העבודה, הבריאות, התיירות, וצריכת האנרגיה הביתית		עלייה של 3 מ"צ	2.22%
Estrada, et al. (2017) ²³⁰	בבחנו 1,700 מהערים הגדולות בעולם, והתוצאה היא לגבי הערים החציוניות		2050	RCP4.5 בשקלול תופעת אי החום העירוני RCP8.5 בשקלול תופעת אי החום העירוני	0.7% 1.4% 0.9% 1.7%
הנציבות האירופית ²³¹	אירופה ובריטניה			עלייה של 3 מ"צ	1.4%
מרכז המחקר של האיחוד האירופי (JRC) 2014 ²³²	האיחוד האירופי	בריאות, אזורי חוף, תחבורה, תיירות, הצפות נהרות, שריפות יער, חקלאות ואנרגיה		תרחיש עלייה של 2 מ"צ תרחיש הייחוס (RCP6.0)	1.2% 1.8%
	דרום אירופה			תרחיש הייחוס (RCP6.0)	8.5%
2018 JRC ²³³	האיחוד האירופי			תרחיש עלייה של 2 מ"צ תרחיש הייחוס (RCP6.0)	0.7% 1.9%
	דרום אירופה			תרחיש עלייה של 2 מ"צ תרחיש הייחוס (RCP6.0)	1.8% 4%

²²⁹ World Bank Group (2016). Roson, R., Sartori, m. Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP9 Database. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24643>

²³⁰ Estrada, F., Botzen, W. J., & Tol, R. S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406.

²³¹ Scope (2021). Extreme climate events in Europe: rising economic losses can lead to greater sovereign ratings divergence. https://www.scopegroup.com/dam/jcr:eb50a1cd-7bcd-46db-a2fe-80fa9b1d76da/Scope%20Ratings_Extreme%20Climate%20Events_2021%20Nov.pdf

²³² Ciscar, J. C., Feyen, L., Soria, A., Lavalle, C., Raes, F., Perry, M., ... & Ibarreta, D. (2014). Climate impacts in Europe-The JRC PESETA II project. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC87011>

²³³ Ciscar, J. C., Feyen, L., Ibarreta, D., & Soria, A. (2018). Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project. *Publications Office of the European Union*, JRC Science for Policy Report EUR, 29427. https://www.preventionweb.net/files/61911_pesetaiiifinalreport.pdf

מקור	אזור המחקר	ההשפעות שנכללו בהערכה	שנה אליה מתייחסת ההערכה	תרחיש	אובדן תמ"ג צפוי
234 JRC 2020	האיחוד האירופי			תרחיש עלייה של 2 מ"צ תרחיש עלייה של 3 מ"צ	0.65% 1.38%
	דרום אירופה			תרחיש עלייה של 2 מ"צ תרחיש עלייה של 3 מ"צ	235 1.36% 236 2.78%
מבטח משנה Swiss-Re 237	48 מדינות שמייצגות 90% מהכלכלה העולמית		2050	עלייה של 3.2 מ"צ (תרחיש חמור)	18%
	המזרח התיכון ואפריקה		2050	תרחיש העדר עלייה תרחיש עלייה של 2 מ"צ תרחיש עלייה של 2.6 מ"צ תרחיש עלייה של 3.2 מ"צ	4.7% 14% 21.5% 27.6%
קן המטבע הבין-לאומית (IMF)	ישראל		2050	RCP 2.6 RCP 8.5	יעלה בשיעור של 0.24% 1.15%
דו"ח מבקר המדינה 238	הים התיכון, המזרח התיכון ואפריקה	מתבסס על הערכות מקרו-כלכליות של JRC, Swiss-Re, IMF	2050	עסקים כרגיל	8.5-27.6%
שכטר וחובריו (2013) 239	ישראל				0.1-1.3%

²³⁴ Szewczyk, W., Feyen, L., Matei, A., Ciscar, J. C., Mulholland, E., & Soria, A. (2020). Economic analysis of selected climate impacts. JRC PESETA IV project–Task 14 (No. JRC120452). Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC120452>

²³⁵ מתוך כך, כתוצאה ממוות מחום קיצוני, ו-0.03% כתוצאה מצריכה אנרגיה.

²³⁶ מתוך כך, כתוצאה ממוות מחום קיצוני, ו-0.04% כתוצאה מצריכה אנרגיה.

²³⁷ Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

²³⁸ מבקר המדינה (2021). דו"ח מיוחד: פעולות ממשלת ישראל והיערכותה למשבר האקלים. פרק 3 - היבטים כלכליים ופיננסיים של משבר האקלים.

<https://www.mevaker.gov.il/sites/DigitalLibrary/Pages/Reports/7357-4.aspx>

²³⁹ שכטר, מ., אילון, א., פלטיניק, ר. דוידוביץ, א. (2013). השלכות שינויי האקלים הצפויים עד שנת 2030 על ענף הביטוח והמשק הישראלי. אוניברסיטת חיפה – המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה.

תחשיב כלכלי לנזק בעיר תל אביב-יפו בשנת 2050 – בהתאם לתמ"ג

השפעת שינויי האקלים על התמ"ג העולמי, האזורי או המדינתי נבחן במספר רב של מחקרים בעלי מגוון רחב של תוצאות המהוות את הבסיס המחקרי לתחשיב. בישראל לא מתבצעת מדידה רשמית של תמ"ג ברמה העירונית ולכן נעשה שימוש באומדן העירייה ואקסטרפולציה של ממצאי המחקרים לנתוני העיר.

הנחות עבודה:

- הנתונים נותחו על פי פרמטרים מאקרו-כלכליים ורמת המחירים של שנת 2021 עם התאמה לגידול חזוי באוכלוסייה לשנת 2050, כאשר יתר המשתנים קבועים.
- התחזית לגידול האוכלוסייה בתל אביב-יפו בשנת 2050 תהיה זהה לתחזית גידול האוכלוסייה הארצית שנערכה על ידי הלמ"ס (טבלה 23). הערכה העולה בקנה אחד עם תחזית במסגרת מחקר עצמאי שנערך עבור עיריית תל אביב-יפו לשנת 2035.

טבלה 23: אוכלוסייה בישראל ובתל אביב-יפו ב-2020 ותחזית ל-2050

שנה	ישראל (אלפי תושבים)	תל אביב-יפו (אלפי תושבים)
2020	9,290	464
2050	15,000	749

- התמ"ג בישראל ובתל אביב-יפו נאמד על בסיס נתוני 2021.
- שיעור התמ"ג של העיר תל אביב-יפו מסך התמ"ג של מדינת ישראל הינו 11.6%.
- ממצאי המחקרים מגופי מחקר מובילים בעולם ממחישים את השונות באובדן התמ"ג הצפוי (טבלה 24).

טבלה 24: תמצית ממצאי המחקרים שנסקרו לגבי אובדן תמ"ג צפוי בשנת 2050

מקור	תרחיש RCP4.5 (עליית טמפרטורה ממוצעת ב-1.5 מ"צ)	תרחיש RCP8.5 (עליית טמפרטורה ממוצעת ב-2.5 מ"צ)
הבנק העולמי		2.22%
Estrada	1.4%	1.7%
הנציבות האירופית		1.4%
האיחוד האירופי	1.2%	2%
JRC2018	0.7%	2%
JRC2020	0.65%	2%
מבקר המדינה		8.5-27%

- הערכות אלו כוללות בתוכן רכיבים נוספים המושפעים משינוי האקלים כגון: שריפות, הצפות ועוד, אך ההערכה היא כי 70% מהנזק לתמ"ג הינו בשל רכיב עליית הטמפרטורה בלבד.
- מחקרים מצאו כי אובדן התמ"ג הגדול ביותר צפוי בדרום-מזרח אסיה ולאחר מכן במזרח התיכון ובאפריקה.
- מרב אובדן התמ"ג (למעלה מ-55%) הינו כתוצאה מתמותה עודפת מחום קיצוני.

לאחר שקלול כל הממצאים, הערכים שנלקחו לצורך התחשיב השמרני שביצענו לאובדן התמ"ג העירוני בשנת 2050, הינם אובדן תמ"ג של 1% בתרחיש RCP4.5, ואובדן תמ"ג של 2% בתרחיש RCP8.5.

תוצאות התחשיב הכלכלי (אובדן תמ"ג)

אובדן התמ"ג העירוני כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב-1.25 מיליארד ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP4.5.

אובדן התמ"ג העירוני כתוצאה מעליית הטמפרטורה בשנת 2050, מוערך ב-2.5 מיליארד ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP8.5.

התאמת התחשיב לגידול באוכלוסייה, כאשר יתר הפרמטרים נותרים זהים (לרבות התמ"ג לנפש), מעלה את אובדן התמ"ג ל-2 מיליארד ש"ח תחת תרחיש RCP4.5, ו-4 מיליארד ש"ח תחת תרחיש RCP8.5.

סיכום הניתוח הכלכלי

פרק זה מציג תחשיב כלכלי ראשוני המעריך את עלות הנזק בעיר תל אביב-יפו מהתחממות האקלים לשנת 2050. התחשיב מתמקד בשני תרחישים מרכזיים – RCP4.5 תרחיש ביניים המניח שיינקטו פעולות אשר יפחיתו את השפעות ההתחממות; ו-RCP8.5 תרחיש "עסקים כרגיל" (להרחבה ראו פרק 'תרחישי אקלים ושנת היעד'). עם זאת, כיוון שלא קיים חיזוי מבוסס עבור העיר תל אביב-יפו לשנת 2050 על פי שני תרחישי ההתחממות שנבחנו, נערך, לצורך התחשיב, אומדן המשקלל את הממצאים בסקירת הספרות ואת תחזיות השירות המטאורולוגי לעיר בשנת 2050, כפי שמוצג בטבלה 25.

טבלה 25: הנחות בסיס לגבי ההתחממות הצפויה בתל אביב-יפו בשני תרחישים, לצורך הניתוח הכלכלי

תרחיש RCP8.5	תרחיש RCP4.5	
2.5	1.5	עלייה בטמפרטורה שנתית ממוצעת
5	3	תוספת מספר גלי חום
44	25	תוספת מספר הימים החמים מאוד (טמפרטורת מקסימום מעל 33 מ"צ)
5	3	מתוכם ימים עם חום קיצוני (מעל 38 מ"צ)

הנחות אלו שימשו לצורך הניתוח הכלכלי של הנזקים הצפויים תחת ההיבטים השונים – בריאות, אנרגיה, פיתוח כלכלי ותמ"ג. טבלה 26 להלן מציגה את סיכום הממצאים.

טבלה 26: הנזקים הצפויים בתל אביב-יפו בשנת 2050 (מיליון ש"ח)

היבט	תרחיש RCP4.5	תרחיש RCP8.5
בריאות	581	789
אנרגיה	770	1,114
פיתוח כלכלי	153	291
סך הכול השפעות bottom-up שנאמדו (מיליון ש"ח)	1,504	2,194
סך הכול השפעות top-down שנאמדו – אובדן תמ"ג (מיליון ש"ח)	2,017	4,086

סיכום התחשיב הכלכלי – השפעה על התוצר בעיר תל אביב-יפו

עלות הנזק בעיר תל אביב-יפו מהתחממות האקלים בשנת 2050, תוך התחשבות בגידול האוכלוסייה הצפוי בשנה זו, נעה בין 2 מיליארד ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP4.5, ל-4 מיליארד ש"ח בשנה, תחת תרחיש RCP8.5.

כימות bottom-up של רכיבי הנזק הישירים שיש עבורם מידע מחקרי מבוסס מסביר בין 50% ל-75% מהנזק שנאמד.

הפער בין התוצאות שהתקבלו בשתי שיטות ההערכה נובע משתי סיבות. מצד אחד, ההערכות לגבי אובדן תמ"ג כוללות בדרך כלל גם השפעות אקלימיות שהיו מעבר להיקף עבודה זו, כגון, הצפות, שריפות ועליית מפלס הים, שאחראים למשל על מרבית הנזק הצפוי לתשתיות. מצד שני, כימות ה-bottom-up כולל רק

השפעות "ידועות-ידועות" – השפעות שלגביהן ישנו בסיס מחקרי מוצק המכמת את השפעת ההתחממות וגם האמידה הכלכלית הינה ידועה ומהימנה. הכימות לפי שיטה זו אינו כולל השפעות רבות אשר צפויות לגרום נזקים נוספים, ובהם פגיעות אקולוגיות, מחסור במשאבי מים, פגיעה במסחר ובכלכלה וסיכונים פיננסיים נגזרים, עלויות כתוצאה מהגירת אקלים ופשיעה ועוד.

תופעת אי החום העירוני והתפלגות הנזק בתוך העיר

תושבי הערים, חשופים במיוחד לאיום ההתחממות בשל תופעת אי החום העירוני. זאת בנוסף לכך שהשפעות האקלים מורגשות באופן לא פרופורציונלי בקהילות עירוניות בשוליים הכלכליים והחברתיים, כמו גם באזורים שונים בתוך העיר הנבדלים בהיקף הצמחייה, הצפיפות, רוחב וכיוון הרחובות ועוד. מכאן, שיש להניח שהנזק יתפלג באופן שאינו אחיד בין תושבי/אזורי העיר.

- מחקר אשר בחן כ-1,700 מהערים הגדולות בעולם מצא כי תופעת אי החום העירוני תכפיל את אובדן התמ"ג בערים החציוניות בשנת 2050, הן בתרחיש RCP4.5 והן בתרחיש RCP8.5, לעומת אובדן התמ"ג הצפוי ללא התחשבות בתופעת אי החום העירוני. **לפיכך הפנמת תופעת אי החום העירוני צפויה להכפיל את הנזק הנאמד בשנת 2050 לערכים של 4 מיליארד ש"ח בשנה בתרחיש RCP4.5, ולכ-8 מיליארד ש"ח בשנה תחת תרחיש RCP8.5.**
- בנוסף, יש להניח כי התפלגות הנזק אינה אחידה הן מבחינת האוכלוסייה המושפעת והן מבחינה גאוגרפית. אזור דרום העיר נמצא חם בכ-6-8 מ"צ בהשוואה לצפון העיר. כמו כן, מבחינה חברתית-כלכלית דרום העיר מכיל שיעור ניכר יותר של אוכלוסיות ברמה סוציו-אקונומית נמוכה – כ-70% מתושבי תל אביב-יפו שהינם בעלי תיק ביחידת הרווחה בעיר מתגוררים ברובעים 7-9, בעוד שיעורם מסך תושבי העיר הינו 36%. **מכאן שיש להניח שעיקר הנזק, בעיקר בהיבט הבריאותי, יהיה באזורים האלו בעיר.**

מגבלות המחקר בתחום

מחקר זה שואף לבצע הערכה כלכלית מלאה לנזק הצפוי לעיר תל אביב-יפו כתוצאה מההתחממות הגלובלית. עם זאת, המחקר העולמי בתחום זה כפוף למגבלות משמעותיות הקשורות לזמינות המידע, לחוסר הוודאות בנוגע להיבטים אקלימיים וחברתיים שונים, כמו גם ליכולת לבטא את ההשפעות במונחים כלכליים. מכאן, שלצד הערכים הכלכליים שנובעים מהניתוח שבוצע בעבודה זו יש לקחת בחשבון את המגבלות המפורטות להלן.

- **בסיס ראיות חלקי** – המחקר על השפעות האקלים הינו בראשיתו והמידע עדיין חסר²⁴⁰ ²⁴¹. מתוך ערוצי השפעה רבים, רק לגבי חלקם יש הערכות כמותיות, ומכאן שבהכרח התוצאה לוקה בהערכת חסר. מנגד, על אף שהיה אידיאלי לכלול בבסיס הידע אמצעי אדפטציה נוכחיים או מתוכננים, מה שהיה גם מספק נתונים לגבי התועלת הכלכלית של אדפטציה, אין כיום, למעט כמה יוצאי דופן (הצפות זמנים) עדויות על היעילות של אמצעי אדפטציה. מכאן, שאמצעים אלו לרוב לא נלקחים בחשבון, מה שיכול ליצור מצב של הערכת יתר של הסיכונים השיוריים.
- **מידול ההשפעות** – השפעות שינויים האקלים מסווגות למספר קטגוריות: השפעות ידועות-ידועות; השפעות ידועות-לא ידועות (ההשפעה ידועה אך ההשפעה הכלכלית אינה ידועה); והשפעות לא ידועות-לא ידועות (התופעה האקלימית לא נלקחה בחשבון או שהקשר בין התופעה לכלכלה לא ידוע). במודל הכלכלי נלקחות בחשבון רק סוג ההשפעות הראשון.
- **סיכונים אקלימיים שונים** – מרבית המחקרים משקללים סיכונים אקלימיים שונים: טמפרטורות קיצוניות (חום וקור), עליית פני הים ושיטפונות, משקעים קיצוניים ובצורות, שריפות, סופות ועוד, ויש קושי לבדד את ההשפעות המיוחסות לחום בלבד. עם זאת, עבודה זו מתמקדת בהשפעות המיוחסות לעליית הטמפרטורות באופן ישיר בלבד.
- **תפיסת החום על ידי הגורם האנושי** – ישנה חשיבות להתייחסות להיבטים של עומס חום ונוחות תרמית, ואף סביר שכמות השפעות החום בהתייחס לטמפרטורת האוויר בלבד תניב ערכים נמוכים מכמות שישקלל אלמנטים פיזיולוגיים. עם זאת, ניתוח ההשפעה המשולבת של הגורמים השונים על האדם מורכבת ואינה קלה להערכה, ולכן גם מדדים מרכזיים מהספרות הנסקרת (כולל תרחישי האקלים של ה-IPCC) מתייחסים ברובם המכריע לעלייה בטמפרטורה ולא למדדים של עומס חום או נוחות תרמית.
- **חוסר אחידות בנתונים** – בשל מידע מוגבל, מסתמכים על מקורות ידע שונים, אשר מיישמים מתודולוגיות שונות מה שמוביל לחוסר אחידות. יש קושי אמיתי לבצע סטנדרטיזציה ולכן לרוב המחקרים מסתפקים בשקיפות לגבי מה שנעשה.
- **תנאים סוציו-אקונומיים נוכחיים/עתידיים** – האם הניתוח מתייחס לתנאים סוציו-אקונומיים (אוכלוסייה, כלכלה) נוכחיים או עתידיים? מחקרים הראו שההתייחסות לתנאים עתידיים מובילה להפרשים גדולים בתחזיות, אפילו עד פי 2 ב-2050. מחקרים מסוימים לוקחים בחשבון את גידול האוכלוסייה²⁴² ואילו אחרים משווים מצב קיים למצב זהה, מבחינת האוכלוסייה והמשק, בעתיד המשקף תנאי אקלים שונים.
- **היוון** – מחקרים מציגים גישות שונות לגבי סוגיית ההיוון, כך למשל, במחקר רחב שבוצע באנגליה²⁴³, הערכים מוצגים במחירים שוטפים, לתקופות נוכחיות ולעתידיות ללא היוון, על מנת לאפשר השוואה ישירה לאורך זמן

²⁴⁰ Swiss Re Institute (2021). The economics of climate change. <https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-economics-of-climate-change.html>

²⁴¹ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

²⁴² AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

²⁴³ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

ולרוחב תרחישים. ואילו מחקר שבוצע במלבורן אוסטרליה²⁴⁴ עשה היוון באמצעות ערך ביניים (שיעור ריבית של 3%)²⁴⁵, ובנוסף ביצע ניתוחי רגישות לשיעורי היוון של 1.5%-ו-6%.

- **השפעות ספציפיות למול הערכה רחבה** – ישנם תחומים שבהם הכימות מורכב במיוחד, כגון השפעות אקולוגיות, וגם אם ישנן הערכות ספציפיות (למשל, השפעות של סוג מסוים של חרק) עדיין קשה יהיה להכליל מכך לגבי קטגוריה רחבה יותר (למשל, השפעות של מזיקים, פתוגנים ומינים פולשים).
- **השפעות עקיפות/הדדיות**²⁴⁶ ²⁴⁷ – התחומים המושפעים מהחום, אינם מושפעים רק באופן ישיר, אלא שישנן השפעות הדדיות רבות, כך למשל, פגיעה בהספקה של שירותים חיוניים כגון חשמל ותקשורת פוגעת באוכלוסייה באופן ישיר, אך גם משבשת את עבודתם התקינה של עסקים, שירותים ציבוריים ושירותים חיוניים, ומערכות תחבורה ויוצרת מעגל השפעות נוסף, אך גם גורמת לכך ששירותים אלו יפגעו כתוצאה מהפגיעה באוכלוסייה שעובדת באותם שירותים.
- **כמותי/איכותי** (עם טווח)²⁴⁸ – מחקר זה לא סקר עבודות שבהן הניתוח הוא איכותי גרידא, עם זאת, גם במחקרים כמותניים, אוזכרו לרוב קטגוריות שבהן אין מספיק ידע בשלב זה לצורך ביצוע ההערכות. מחקרים אחרים מאמצים גישה איכותנית-כמותנית, שבה למשל מסווגים את ההשפעות כהשפעה נמוכה, בינונית או גבוהה, ולכל אחת מהקטגוריות מגדירים טווח ערכים, במונחים כספיים או כשיעור מהסך הכול. לדוגמה, השפעה תוגדר כהשפעה נמוכה, בינונית או גבוהה עם הנזק מסתכם בעד 100,000, בטווח 1,000,000-100,001, או עולה על מיליון דולר, בהתאמה.
- **הסתברויות** – מחקרים מסוימים מגדירים הסתברויות להתממשות הסיכונים ואז נוצרת מורכבות חדשה בשקלול ההסתברות לתוך המודל הכלכלי. לעיתים נלקחים בחשבון ערכים חציוניים, ממוצעים או ערכי קצה, לעיתים משוקללים רק סיכונים עם הסתברות נזק גבוהה.
- **עירייה/עיר** – לא נמצאו מחקרים שעשו את ההבחנה בין כלכלת העירייה ורווחת התושבים. המחקרים שנסקרו עסקו בכימות הנזק בהיבטים שונים (כפי שפורט בפרק 'היבטים שייבחנו – כללי') ולא נעשה 'ייוחס' של הנזקים לגורם זה או אחר.

²⁴⁴ AECOM Australia (2012). Economic Assessment of the Urban Heat Island Effect. <https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/eco-assessment-of-urban-heat-island-effect.pdf>

²⁴⁵ להיוון של פרויקטי תשתית רגילים מקובלת ריבית של 6-7%, אך לפרויקטים עם השפעות חברתיות וסביבתיות ארוכות טווח, כגון אלו המתייחסים לשינויי האקלים, מקובל לאמץ שיעור ריבית נמוך יותר (1.4-2.7%).

²⁴⁶ C40 (2017). Infrastructure Interdependencies and Cascading Climate Impacts Study. [C40 Interdependencies TOOL.pdf \(locomotive.works\)](https://www.c40.org/files/2017/07/C40-Interdependencies-TOOL.pdf)

²⁴⁷ City of Boston (2016). Climate Ready Boston. https://www.boston.gov/sites/default/files/embed/2/20161207_climate_ready_boston_digital2.pdf

²⁴⁸ Watkiss, P., Cimato, F., Hunt, A. (2021). Monetary Valuation of Risks and Opportunities in CCRA3. Supplementary Report for UK Climate Change Risk Assessment 3, prepared for the Climate Change Committee, London. <https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Monetary-Valuation-of-Risks-and-Opportunities-in-CCRA3.pdf>

המלצות למחקרי המשך

מיפוי אוכלוסיות פגיעות – חברתית, כלכלית ומגדרית²⁴⁹ – בעיר תל אביב-יפו לצורך מתן מענה מותאם לסיכוני האקלים בכלל, וסיכוני ההתחממות בפרט.

בחינת הקשר בין תנאי האקלים (טמפרטורה ולחות) לבין פדיונות בבתי עסק ברחבי העיר – תוך התייחסות לאזורים שונים בעיר, ולהבחנה בין חנויות רחוב לחנויות במתחמים ממוזגים. מחקר זה יוכל לסייע לכמת את הנזק הצפוי לעסקים בעיר בשל ההתחממות הצפויה ולייצר פתרונות מותאמים לעסקים השונים. מחקר זה אף יוכל לשרטט את הפגיעה הצפויה במרקם בעירוני, בשל השינויים הצפויים.

קידום מחקרים המבוססים על בסיסי נתונים נרחבים לפיתוח מתאם חזק יותר בין השפעות וטמפרטורות במרחב העירוני, למשל השפעות בריאות, פשיעה, ביקושים ועומסי אנרגיה, שירותי תחבורה ועוד²⁵¹.

ניתוח עלות תועלת לאמצעי הפחתה והסתגלות – נקיטת פעולות להפחתת השפעות אפשריות צריכה להתבסס על ניתוח עלות הפעולות המוצעות ביחס לתועלות האפשריות או מניעת נזקים עתידיים. עבודת המחקר הנוכחית מספקת קו בסיס מוצק לניתוח עלות תועלת כזה. יש לתת את הדעת על כך שכמות כלכלי של נזקים או תועלות אינו משקף את התמונה המלאה – ישנן השפעות שעדיין לא נאסף ביסוס מחקרי מספיק לכימותן וישנן גם השפעות בלתי מוחשיות שיש קושי מחקרי לאמוד אותן בכלל.

ניתוח סינרגטי של התועלות – עלות של אמצעי הסתגלות עומדת לעיתים קרובות למול מגוון של תועלות, כך למשל, הצללת המרחב העירוני יכולה לתרום לשיפור הפדיונות של עסקים ברחוב, להוות תרומה בריאותית במניעת סרטן עור, ושיפור היכולת לעסוק בפעילות גופנית, וכן לתרום לאיכות החיים של תושבי העיר ומשתמשי המרחב העירוני.

בחינת נקודות ההשקה להשפעות שונות של שינויי האקלים – עבודה זו (מעצם הגדרתה), עסקה בנזקים הצפויים בשל התחממות המרחב העירוני. בפיתוח תוכנית היערכות עירונית לשינויי האקלים יש לבחון באופן מתכלל את ההשפעות של אירועי אקלים שונים – עלייה בטמפרטורה הממוצעת ובטמפרטורת המקסימום, תוספת ימים חמים וגלי חום, לצד השפעות של אירועי סופות וסערות, הצפות, עליית פני הים ועוד, בכדי לתת מענה מיטבי ויעיל לכל הסוגיות הרלוונטיות.

בחינה מעמיקה לפתרונות הצללה – הצללת המרחב העירוני הינה פתרון מרכזי להתמודדות עם התחממות האקלים. שתילת עצים נחשבת אמצעי מועדף ליישום הצללה בשל תועלות נוספות שצמחייה מספקת, כגון, הפחתת זיהום אוויר, תרומה לניהול נגר, יתרונות אסתטיים ועוד. עם זאת, תכנון הצללה מיטבית צריך לכלול תהליך תיעודף מרחבי ליישום ההצללה באזורים בהם היא נדרשת במיוחד, תהליך בחינה כמותית, כמו גם בחינה השוואתית בין אמצעים שונים – הצללה באמצעות מבנים, אלמנטים בנויים או צמחייה – הן מבחינת הישימות והן מבחינת העלות.

²⁴⁹ משרד הרווחה והביטחון החברתי (2021). אוכלוסיות פגיעות ומשבר האקלים – תוכנית המאץ.

https://www.gov.il/he/Departments/publications/reports/vulnerable_populations

²⁵⁰ קריגל, ק., צ'צ'יק, ע., כהן, נ., בנימין, א. (2022). פרספקטיבה מגדרית בהיערכות של רשויות מקומיות למשבר האקלים. קריאות ישראליות, 2, יוני 2022. האוניברסיטה הפתוחה.

²⁵¹ ראו לדוגמה קול קורא של משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה שיכול להוות מסגרת.

https://www.gov.il/he/departments/publications/Call_for_bids/rfp20221024

נספח – תרחישי אקלים בישראל ובתל אביב-יפו

- החל משנות ה-80, תל אביב-יפו התחממה בכמעט 2 מ"צ²⁵². בעשור האחרון, קצב ההתחממות בתל אביב-יפו ובאזור המזרח התיכון עבר בפער משמעותי כל אזור אחר על פני כדור הארץ.
- הבנק העולמי²⁵³ מציג משתני התאמה לכל מדינה ביחס לטמפרטורה העולמית, באופן כזה שמאפשר להעריך את השינוי בטמפרטורה המקומית ביחס לממוצעים הגלובליים. משתנה ההתאמה המיוחס לישראל הינו 1.23.
- בהתאם לתחזיות שגובשו במסגרת מאיץ החוסן²⁵⁴, תל אביב-יפו צפויה (בהשוואה לתנאים בתקופה 1980-2005):
 - **בתרחיש RCP4.5** – לחוות 30 ימים נוספים עם חום מעל 33 מ"צ, ו-6 ימים נוספים של גלי חום (projected average heat wave duration) בשנות ה-2020 (מתייחס לתקופה 2011-2040), ותוספת של 55 ימים חמים, ו-8 ימים נוספים של גלי חום בשנות ה-2050 (מתייחס לתקופה 2041-2070).
 - **בתרחיש RCP8.5** – לחוות 53 ימים נוספים עם חום מעל 33 מ"צ, ו-10 ימים נוספים של גלי חום בשנות ה-2020, ותוספת של 97 ימים חמים, ו-20 ימים נוספים של גלי חום, בשנות ה-2050.
- על פי תוכנית הפעולה להיערכות לשינויי אקלים שפרסמה עיריית תל אביב-יפו²⁵⁵, לאקלים בתל-אביב-יפו כמה מאפיינים מרכזיים שנובעים ממיקומה הגאוגרפי, הקרבה לים והמבנה המורפולוגי של העיר:
 - טמפרטורות – הטמפרטורה המקסימלית בתל-אביב-יפו ב-2019 הגיעה ל-39 מ"צ ואילו הטמפרטורה המינימלית הגיעה ל-8 מ"צ.
 - לחות – הלחות הממוצעת בתל-אביב-יפו עומדת על כ-66%. במהלך ימי הקיץ, הלחות יכולה להגיע עד 90%.
 - מיקרו-אקלים – יש שוני אקלימי בין אזורי העיר השונים, בהתאם למרקם הבנוי, הפעילות העירונית והקרבה לים. הפרש הטמפרטורות בקיץ בין אזורים שונים יכול להגיע ל-8 מ"צ. במיפוי תרמי של תל אביב-יפו, ניתן לראות שאיי החום נמצאים בעיקר בדרום ובמזרח העיר, ואילו מרכז העיר, בו המרקם נמוך ומוצל ופתוח לרוח מן הים – יותר קריר.
- לפי תוכנית היערכות, התחזיות לשינויים שיחולו בשנת **2050**, הן:
 - **בתרחיש RCP4.5** – עלייה בטמפרטורה הממוצעת בטווח של 1.5-1.8 מ"צ, תוספת של 55-76 ימים עם חום מעל 33 מ"צ, ו-8 ימים נוספים של גלי חום.
 - **בתרחיש RCP8.5** – עלייה בטמפרטורה הממוצעת בטווח של 2.3-2.7 מ"צ, תוספת של 78-97 ימים עם חום מעל 33 מ"צ, ו-20 ימים נוספים של גלי חום.
- תחזית השירות המטאורולוגי מ-**2022** למגמות בטמפרטורות גבוהות באזור מישור החוף מתוארת בטבלה 27 להלן.

²⁵² Yosef, Y., Aguilar, E., & Alpert, P. (2019). Changes in extreme temperature and precipitation indices: using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology*, 39(13), 5022-5045.

²⁵³ World Bank Group (2016). Roson, R., Sartori, m. Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP9 Database. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24643>

²⁵⁴ עיריית תל אביב-יפו. מאיץ חוסן.

<https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=40f91153c7f04aa3967224ea35eede40>

²⁵⁵ עיריית תל אביב-יפו (2020). תכנית פעולה היערכות לשינויי אקלים. [תכנית פעולה - היערכות עירונית לשינויי אקלים](https://www.tel-aviv.gov.il/2020.pdf)

קו החוף		מישור החוף			
2040-2060	1997-2017	2040-2060	1997-2017		
		<1.5 מ"צ	20.5-21 מ"צ		טמפרטורה שנתית ממוצעת
31 מ"צ	29 מ"צ	33 מ"צ	31 מ"צ	קיץ	טמפרטורת מקסימום ממוצעת
		29.5 מ"צ	28 מ"צ	סתיו	
35 ימים	20 ימים	75 ימים	65 ימים	קיץ	מספר הימים החמים (טמפרטורת מקסימום מעל 30 מ"צ)
8 ימים	6 ימים	15 ימים	12 ימים	אביב	
<15 ימים	7 ימים	<38 ימים	27 ימים	סתיו	
1.5-2 ימים	>0.5	15 ימים	4 ימים	קיץ	מספר הימים החמים מאוד (טמפרטורת מקסימום מעל 34 מ"צ)
		5 ימים	2 ימים	סתיו	
		4	1-2		מספר גלי חום ²⁵⁷
		5 ימים	4 ימים		משכו של גל חום
		36 מ"צ	35 מ"צ		טמפרטורה אופיינית בגל חום
		<40 מ"צ	<38 מ"צ		טמפרטורה מקסימלית בגל חום

סקירה זו של השירות המטאורולוגי, אשר מתמקדת באזור מישור החוף, אינה מתייחסת לתרחישי RCP, אלא לתרחיש "אופייני" – המייצג תנאי אופייניים מדי שנה (עשויים לקרות כמעט כל שנה). עם זאת, ישנה התייחסות לגלי חום אופייניים לעומת גלי חום בתרחיש "חמור סביר" – גל חום קיצוני שההסתברות לקבלו מידי שנה הינה קטנה מאוד (סיכוי של כ-5% בשנה – תקופת חזרה ממוצעת של כ-20 שנה). גל חום קיצוני אופייני בשנת 2040 (2030-2050), עשוי להתרחש יותר מפעם אחת בקיץ, עשוי להימשך 7 ימים, עם טמפרטורת מקסימום של 35 מ"צ, שעשויה אף להגיע מעל ל-39 מ"צ (32 מ"צ בקו החוף) ולחות סביב 60% בשעות הצהריים (עומס חום קיצוני ביום, ועומס חום כבד בלילה – טמפרטורת מינימום של 28 מ"צ בקו החוף ולחות יחסית של 90%). לעומתו, גל חום חמור יימשך 7-10 ימים, טמפרטורת המקסימום תהיה מעל 35 מ"צ, ועשויה אף להגיע מעל 40 מ"צ (בקו החוף הטמפרטורה תגיע ל-33-34 מ"צ).

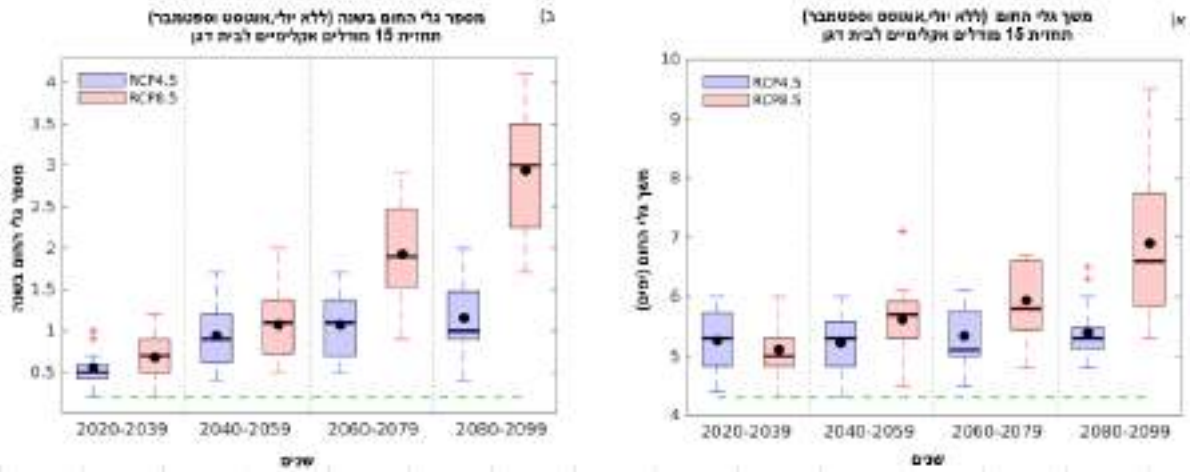
ניתוח אחר של השירות²⁵⁸ מתייחס דווקא לגלי חום שלא בעונת הקיץ. הניתוח מדגיש כי גלי חום כאלו (4 ימים רצופים עם טמפרטורה מרבית מעל 33 מ"צ) התרחשו רק 13 פעמים בין השנים 1962-2020, ומצייני כי גל חום שהתרחש עד כה בממוצע רק כפעמיים בעשור, צפוי במחצית השנייה של המאה להתרחש בממוצע פעם בשנה בתרחיש RCP4.5, ואף לעלות לפעמיים בשנה בתרחיש RCP8.5. עם זאת, הבדלים בולטים בין שני התרחישים יתרחשו רק לקראת סוף המאה (איור 8 להלן).

²⁵⁶ השירות המטאורולוגי (2022). מגמות בטמפרטורות הגבוהות בעשורים הקרובים – תרחיש לאזור מישור החוף.

https://ims.gov.il/sites/default/files/inline-files/%D7%9E%D7%99%D7%A9%D7%95%D7%A8%20%D7%94%D7%97%D7%95%D7%A3_1.pdf

²⁵⁷ גל חום מוגדר על ידי השירות המטאורולוגי כמצב של תנאי עומס חום כבדים מהרגיל לפרק זמן ממושך (שלושה ימים לפחות). עם זאת, בפרסומים שונים של השירות מופיעות גם ההגדרות הבאות: במספר אופנים: (א) רצפים של ימים עם טמפרטורות גבוהות; (ב) רצף של לפחות ארבעה ימים, כאשר הטמפרטורה המקסימלית היומית אינה פוחתת מ-33 מ"צ; (ג) אירוע ממושך בו עומס החום כבד מהרגיל ומתמשך על פני שעות רבות ביממה.... בשפלה ובמישור החוף, גלי החום נובעים משילוב בין טמפרטורות גבוהות לערכים גבוהים של לחות יחסית שעשויים להגיע במישור החוף ל-70% ויותר במשך רוב שעות היממה.

²⁵⁸ <https://ims.gov.il/he/node/116#>



איור 8: תחזית גלי חום שלא בעונת הקיץ²⁵⁹

פרסום אחר משנת 2020²⁶⁰ מציג את הגידול הצפוי בטמפרטורה בתקופות שונות בהשוואה לתקופה 1988-2017, ביחס לתרחישי RCP4.5 ו-RCP8.5, אך ללא התייחסות ספציפית לאזור תל אביב-יפו (טבלה 28 להלן).

טבלה 28: הגידול הממוצע בטמפרטורה בין תקופות שונות בעתיד לבין תקופת הייחוס 1988-2017²⁶¹

RCP8.5			RCP4.5			בן חורף טמפרטורה	קטגוריה	RCP8.5			RCP4.5			בן קיץ טמפרטורה	קטגוריה
75% אחתון	25% אחתון	ממוצע	75% אחתון	25% אחתון	ממוצע			75% אחתון	25% אחתון	ממוצע	75% אחתון	25% אחתון	ממוצע		
1.38	0.53	0.89	1.16	0.51	0.81	2021-2050	1.94	0.76	1.34	1.49	0.70	1.03	2021-2050		
2.86	1.89	2.40	1.99	1.03	1.47	2051-2080	3.81	2.20	3.04	2.34	1.09	1.72	2051-2080		
3.81	2.74	3.50	2.23	1.19	1.70	2071-2100	6.03	3.37	4.98	2.98	1.32	1.96	2071-2100		
RCP8.5			RCP4.5			בן חורף טמפרטורה	קטגוריה	RCP8.5			RCP4.5			בן קיץ טמפרטורה	קטגוריה
75% אחתון	25% אחתון	ממוצע	75% אחתון	25% אחתון	ממוצע			75% אחתון	25% אחתון	ממוצע	75% אחתון	25% אחתון	ממוצע		
1.39	0.66	1.03	1.15	0.60	0.87	2021-2050	1.86	0.71	1.19	1.37	0.69	0.89	2021-2050		
2.81	1.84	2.34	1.90	1.06	1.42	2051-2080	3.85	2.26	2.90	2.28	1.22	1.61	2051-2080		
3.86	2.86	3.39	2.16	1.10	1.66	2071-2100	5.18	3.44	4.14	2.55	1.40	1.88	2071-2100		

כמו כן, השירות המטאורולוגי מפרסם²⁶², בהתאם להרצת 12 מודלים שונים, נתונים חזויים של טמפרטורות מקסימום ומינימום יומית עד שנת 2100, לתרחישי RCP4.5 ו-RCP8.5, בכ-26 תחנות ברחבי הארץ (כולל תחנה בתל אביב-יפו), אך בחינת הנתונים, מעלה כי הניתוח הפרטני אינו מאפשר להציג מגמות ארוכות טווח.

על פי השירות המטאורולוגי, עומס חום הוא מדד המבטא את מידת אי הנוחות הנובעת מהשילוב בין טמפרטורת האוויר ללחות הנמצאת בו. כך למשל, עומס חום בינוני מתקיים כאשר מדד אי הנוחות הוא בטווח 26-27.9 מ"צ, עומס חום כבד כאשר המדד הוא בטווח 28-29.9 מ"צ, ועומס חום כבד מאוד כאשר המדד מצביע על 30 מ"צ ומעלה²⁶³. אזור החוף בקיץ מאופיין במזג אוויר הביל (חם ולח). הלחות ממתנת את הטמפרטורה, ולכן לא בהכרח נמדדות טמפרטורות יוצאות דופן, אך היא פוגעת ביעילות מנגנון ההזעה וגורמת לתחושת חום מעיקה. עומס חום כבד או קיצוני יכול לנבוע הן ממזג אוויר חם מאוד ויבש והן ממזג אוויר הביל. מיפוי עומסי החום שפורסם על ידי השירות²⁶⁴ מגדיר את עומסי החום הממוצעים בשעה 14:00. בחודש מאי – הממוצע הינו ללא עומס חום עד עומס חום קל, בחודש יוני – עומס חום מתון, וביוני, אוגוסט וספטמבר – עומס חום בינוני. עומס החום מגיע לשיאו באוגוסט אז נמדדים בימים ממוצעים עומסי חום בינוניים ואף כבדים בחלק ניכר ממישור החוף. הקלה משמעותית בעומסי החום מורגשת רק באוקטובר, בעיקר בשל טמפרטורת הים שמגיעה לשיאה באוגוסט ונותרת גבוהה בספטמבר.

²⁵⁹ <https://ims.gov.il/he/node/116#>

²⁶⁰ השירות המטאורולוגי (2020). [מגמות השינוי בטמפרטורה בישראל, תחזיות עד 2100](#). שם²⁶¹

²⁶² https://data.gov.il/dataset/max_min_longtermforecast

²⁶³ השירות המטאורולוגי (2021). מיפוי [עומס חום ממוצע 2011-2020](#).

²⁶⁴ https://ims.gov.il/sites/default/files/inline-files/HEAT_STRESS%20.pdf

בכל הנוגע לתרחישים ותחזיות עתידיות, מחקר זה יתבסס על הנתונים המפורסמים כפי שפורטו לעיל, עם זאת חשוב להדגיש כי על פי ועדת ההיגוי של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים להתמודדות עם משבר האקלים²⁶⁵, אין כיום בידי ישראל יכולות חיזוי שיניבו תחזיות ותרחישי אקלים מפורטים לטווח הארוך, מיוחדים לאזורנו וביכולת הפרדה מרחבית גבוהה, והמודלים האקלימיים שעליהם מסתמכים הינם ברזולוציה גסה ומבוססים על הדמיות כלל עולמיות שבוצעו לפני כעשר שנים, והחשש הוא כי "השפעת שינויי האקלים בישראל בעלת הטופוגרפיה המורכבת ואזורי האקלים השונים אינה מאובחנת ברזולוציה הנמוכה של תחזיות האקלים העולמיות והיא אף עלולה להטעות".

²⁶⁵ ועדת ההיגוי של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים להתמודדות עם משבר האקלים (2022). נייר עמדה מספר 1, מאי 2022: הערכת צורכי כוח החישוב הלאומי הנחוץ לחיזוי האקלים בישראל – סקירה והמלצות. <https://www.academy.ac.il/SystemFiles2015/NationalNeedsFinal.pdf>



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קרית הטכניון,
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

אנרגיה וסביבה