

דצמבר 2024

# השפעות בריאותיות של זיהום אוויר בישראל - תמותה מוקדמת ואובדן שנות חיים

נכתב על ידי ד"ר אילן לוי, אגף מניעת זיהום אוויר ואסבסט, המשרד להגנת הסביבה

בסיוע ד"ר איזבלה קרקיס, מנהלת המחלקה לאפידימיולוגיה סביבתית, חטיבת בריאות הציבור, משרד הבריאות

## מסרים עיקריים:

- על פי נתוני ארגון הבריאות העולמי חשיפה לזיהום אוויר היא גורם הסיכון הסביבתי הגדול ביותר לבריאות הציבור. מוערך כי זיהום אוויר גורם לתמותה מוקדמת של כ- 4.2 מיליון בני אדם בשנה בעולם.
- לראשונה, מוצג ניתוח של תמותה מוקדמת ואובדן שנות חיים כתוצאה מחשיפה למזהמי אוויר בישראל בהסתמך על ערכי היעד החדשים של ישראל לפי חוק אוויר נקי התשס"ח-2008, אשר עודכנו בחודש מרץ 2022 ומתבססים על המלצות ארגון הבריאות העולמי משנת 2021.
- הניתוח נעשה עבור כל שנה בנפרד, לתקופת השנים 2015-2023.
- חשיפה לזיהום אוויר קשורה לבין 4,641 ו-6,166 מקרי מוות מוקדם בשנה בשנים אשר נבחנו.
- מקרי המוות המוקדם בשל חשיפה לזיהום אוויר נגרמים בעיקר בשל חשיפה לחלקיקים נשימים עדינים הקטנים מ 2.5 מיקרון (PM<sub>2.5</sub>, להלן "חלקיקים נשימים עדינים") (3,931-5,375 בשנים 2015-2023), חנקן דו חמצני אחראי ל-628-346 מקרים ואוזון ל-348-575 מקרים.

מספר מקרי מוות מינימאלי ומקסימאלי כתוצאה מכל מזהם אוויר שנבדק, 2015-2023

מזהם	ערך מינימאלי (שנה)	ערך מקסימאלי (שנה)
חלקיקים נשימים עדינים	3,931 (2018)	5,375 (2015)
חנקן דו חמצני	346 (2023)	628 (2015)
אוזון	348 (2018)	575 (2021)

- מקרי התמותה המוקדמת הנוספים גורמים לאובדן של עשרות אלפי שנות חיים בשנה, אשר נעים בין 46,216-65,289 בשנה בשנים 2015-2023 כתוצאה מחשיפה לחלקיקים, 7,218-3,802 שנות חיים בשנה בשל חשיפה לחנקן דו חמצני, ו-9,200-5,547 שנות חיים בשנה כתוצאה מחשיפה לאוזון.

אובדן שנות חיים מינימאלי ומקסימאלי כתוצאה מכל מזהם, 2015-2023

מזהם	ערך מינימאלי (שנה)	ערך מקסימאלי (שנה)
חלקיקים נשימים עדינים	46,216 (2018)	65,289 (2015)
חנקן דו חמצני	3,802 (2023)	7,218 (2015)
אוזון	5,547 (2018)	9,200 (2021)

- הערכות אלו גדולות באופן משמעותי בהשוואה להערכות קודמות אשר פרסם ארגון ה- **OECD**, אשר הציגו 2,280 מקרי מוות מוקדם כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים **PM<sub>2.5</sub>** בלבד. ההבדל נובע ברובו מעדכון ערך היעד (5 מק"ג/מק"ת במקום 10 מק"ג/מק"ת), שהביא להגדלת הפער בין הערכים הנמדדים בישראל לערך היעד המעודכן, כך שהערכות מקרי התמותה עלו בהתאם. בהערכות התמותה מחנקן דו חמצני ניכרת מגמת ירידה, ואילו הערכות התמותה מחשיפה לאוזון נמצאת במגמת עלייה. לא ניתן לזהות מגמה ברורה לאורך השנים בתמותה מחשיפה לחלקיקים.

- שיעורי התמותה המוקדמת בכלל האוכלוסייה בישראל הם נמוכים יותר בהשוואה למדינות אירופה בהן הרמות הממוצעות של מזהמי האוויר דומות לישראל. ההסבר לכך הוא השיעור הנמוך יותר של אוכלוסייה מבוגרת בישראל, בהשוואה למרבית מדינות אירופה.

הניתוח אינו כולל השפעות נוספות כגון תמותה כתוצאה מחשיפה למזהמי אוויר אחרים (למשל חומרים מסרטנים), תחלואה מסוגים שונים הקשורה בזיהום אוויר והשפעתה על תוספת עומס על מערכת הבריאות (למשל בימי אשפוז).

## תקציר

לזיהום אוויר השפעות שליליות על בריאות האדם והוא אף מוכר כגורם הסיכון הסביבתי המשמעותי ביותר. הארגון לשיתוף פעולה כלכלי ופיתוח, <sup>1</sup>OECD, פרסם בעבר הערכות של מספר מקרי המוות המוקדם המיוחסים לחשיפה לזיהום אוויר חלקיקי בישראל, אשר הסתכמו ב-2,280 מקרי מוות בשנת 2019. הדוח הנוכחי מציג הערכה עדכנית של השפעות זיהום אוויר בישראל על בריאות האוכלוסייה, בשני מדדים: מספר מקרי מוות מוקדם ואובדן שנות חיים התוספתיים בכל שנה בין השנים 2015-2023. הניתוח המוצג מתייחס לשלושה מזהמים: חלקיקים נשימים עדינים הקטנים מ-2.5 מיקרון ( $PM_{2.5}$ ), חנקן דו חמצני ואוזון.

מוות מוקדם מתייחס למוות המתרחש לפני הגיל החזוי לאדם על פי רמת הסיכון לתמותה מסיבות טבעיות בקרב האוכלוסייה הרלוונטית עבורו, בחלוקה לקבוצות גיל ומין. מקובל להתייחס למקרי מוות מוקדם ככאלו אשר ניתן היה למנוע, אילו גורם הסיכון לא היה קיים. אובדן שנות חיים מתייחס לסך שנות החיים אשר אבדו בעקבות מקרי המוות המוקדם, והוא מוערך על ידי חישוב תוחלת החיים הממוצעת לכל קבוצת גיל ומין ומספר מקרי המוות המוקדם מאותה קבוצה.

מספר מקרי המוות המוקדם המוסברים על ידי חשיפה למזהמי האוויר מעל ערך הסף הנקבע בין השנים 2015-2023, נע בטווח של 3,931-5,375 מקרי מוות בשנה כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים ( $PM_{2.5}$ ), 346-628 מקרים כתוצאה מחשיפה לחנקן דו חמצני ו-348-575 מקרים כתוצאה מחשיפה לאוזון. סך כל מקרי התמותה המשולבת משלושת המזהמים נעה בין 4,641 ל-6,166 מקרי מוות מוקדם מידי שנה בישראל.

ההערכות לגבי אובדן שנות חיים בישראל כתוצאה מתמותה מוקדמת המיוחסת לחשיפה לזיהום אוויר בין השנים 2015-2023 נעות בין 46,216 לבין 65,289 שנים כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים ( $PM_{2.5}$ ), 3,802-7,218 שנים כתוצאה מחשיפה לחנקן דו חמצני ו-5,547-9,200 שנים כתוצאה מחשיפה לאוזון. נתונים אלו מצביעים על הנטל אשר מהווה זיהום האוויר על המשק בישראל.

מספר מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים בדוח זה גבוה יותר מההערכה הקודמת אשר פרסם ה-OECD. הפער העיקרי בין ההערכות בדוח זה להערכת ה-OECD נובע מעדכון ערך הייחוס השנתי (הריכוז אשר חשיפה לריכוזים גבוהים ממנו מהווה פגיעה ודאית בבריאות האדם) לחלקיקים נשימים עדינים, מ-10 מק"ג/מק"ת<sup>2</sup> ל-5 מק"ג/מק"ת בעקבות אימוץ המלצות ארגון הבריאות העולמי כערך יעד<sup>3</sup> לחלקיקים עדינים בישראל, אולם ישנם גם הבדלים בנתונים ובשיטות החישוב.

בהשוואה לנתונים דומים אשר חושבו למדינות אירופה במתודולוגיה זהה, תוספת מקרי המוות המוקדם ואובדן שנות החיים לכל מאה אלף תושבים בישראל כתוצאה מחשיפה

<sup>1</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development

<sup>2</sup> מיקרוגרם למטר מעוקב תקני

<sup>3</sup> ערך יעד: על פי חוק אוויר נקי התשס"ח 2008, ערכי היעד הם ערכים אשר חשיפה לריכוזים הגבוהים ממנו מהווה פגיעה בבריאות האדם

לחלקיקים נשימים עדינים ואוזון הם נמוכים יותר בהשוואה למדינות באירופה אשר בהן ריכוזים דומים של מזהמים. ההסבר העיקרי לכך הוא האוכלוסייה הצעירה יותר בישראל, שאחוז התושבים מעל גיל 65 בה נמוך בהשוואה לאירופה.

עבור תמותה מחנקן דו חמצני ניכרת מגמה ברורה של ירידה, ואילו באוזון יש מגמה של עלייה. לא ניתן להצביע על מגמה ברורה בשיעורי התמותה בין השנים 2015-2023 כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים.

## א. רקע

זיהום אוויר מוכר כגורם הסיכון הסביבתי העיקרי לבריאות האדם. על פי נתוני ארגון הבריאות העולמי<sup>4</sup> (WHO), בשנת 2019 כמעט כל אוכלוסיית העולם (99%) הייתה חשופה לזיהום אוויר בריכוזים העולים על הערכים הבריאותיים שהארגון המליץ עליהם. באותה שנה זיהום אוויר בסביבה החיצונית היה אחראי ל-4.2 מיליון מקרי מוות מוקדם בכל העולם.

החשיפה לזיהום אוויר גורמת להשפעות בריאותיות שונות ובראשן תמותה מוקדמת, תחלואה עודפת, אשפוזים, אובדן ימי עבודה ולידות מוקדמות. לצד השפעות אלה, לזיהום אוויר מיוחסות מגוון השפעות על הסביבה ובהן פגיעה באקוסיסטמות, במגוון הביולוגי, בגידולים חקלאיים ואף במבנים.

להבדיל מסיבות מוות כדוגמת סרטן, מחלות לב וסוכרת, אותן ניתן לקבוע בעת המוות ולכמת (למשל על ידי נתוני מרשם הסרטן), גורמי סיכון בריאותי כגון יתר לחץ דם, משקל עודף, כולסטרול גבוה, עישון וזיהום אוויר, אינם ניתנים לכימות ישיר בהשפעתם על הבריאות כיוון שאינם משויכים ישירות לכל מקרה מוות. לכן יש צורך להעריך את השפעתם בדרכים עקיפות, באמצעות מחקרים אפידמיולוגיים מכוונים לסוגי תחלואה שונים. מזהמי האוויר השכיחים להם מיוחסות ההשפעות הבריאותיות על כלל האוכלוסייה הם חלקיקים נשימים עדינים (PM<sub>2.5</sub>), תחמוצות חנקן ואוזון. מזהמים אלו נפלטים כתוצאה ממגוון של פעילויות אנושיות (תחבורה, תעשייה, ייצור אנרגיה, חקלאות, ועוד) או שנוצרים כמזהמים שניוניים באוויר כתוצאה מריאקציות כימיות בין מזהמים אחרים (חלקיקים שניוניים) ובנוכחות קרינת השמש (אוזון). יחד עם זאת, מזהמים אלו גם קיימים באופן טבעי בסביבה כתוצאה מתהליכים שונים.

על פי הערכת הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי (OECD) משנת 2019, שיעור מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר סביבתי בישראל הוא 26.8 מקרי מוות לכל 100,000 תושבים<sup>5</sup>. בשנת 2019, השנה האחרונה עבורה פרסם ה-OECD נתונים אלו, היה זיהום האוויר אחראי ל-2,280 מקרי מוות מוקדם<sup>6</sup>. במחקר משנת 2016 של חוקרים ממשרד

<sup>4</sup> [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

<sup>5</sup> <https://www.oecd.org/israel/health-at-a-glance-Israel-EN.pdf>

<sup>6</sup> OECD (2024), Air pollution effects (indicator). doi: 10.1787/573e3faf-en (Accessed on 27 May 2024) [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP\\_MORSC](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP_MORSC)

הבריאות<sup>7</sup> הוערך מספר מקרי המוות המוקדם בישראל באמצעות שלושה מודלים שונים, והתוצאות נעו בטווח שבין 1,609-2,253 מקרים בשנה.

מקרי התמותה המוקדמת מזיהום אוויר חיצוני אשר מתוארים בדוח זה נגזרים מתוך מקרי התמותה מסיבות טבעיות עליהן מדווח הלמ"ס מידי שנה. לשם המחשה, כאשר הלמ"ס מדווח למשל על 50,000 מקרי מוות מסיבות טבעיות בשנה מסוימת, ובחישוב התמותה מזיהום אוויר נמצא כי 5,500 מקרי מוות מוקדם באותה השנה נגרמו מחשיפה לזיהום אוויר, המשמעות היא שניתן היה למנוע 5,500 מקרי מוות מתוך 50,000 מקרי המוות באותה השנה, אילולא החשיפה לזיהום האוויר.

חישוב ההשפעות הבריאותיות של מזהמי אוויר מתבסס על מספר פרמטרים אשר יפורטו בהמשך, וביניהם עקומות מנה-תגובה (תוספת הסיכון לתמותה כתוצאה מחשיפה למזהמי אוויר) וערך הסף לסיכון לתמותה מוקדמת. בשנים האחרונות פורסמו מספר מחקרים אפידמיולוגיים רחבי היקף אשר בחנו מחדש את עקומות המנה-תגובה של מזהמי אוויר אלו. פרסומים אלו היוו בסיס לבחינה מחדש של ארגון הבריאות העולמי ועדכון של ערכי הסף הבריאותיים, ערכים אשר פורסמו בשנת 2021, וכן הבחינה מחדש של הדירקטיבות האירופיות לאיכות אוויר. כתוצאה ממחקרים אלו עודכנו עקומות המנה-תגובה בהן נעשה שימוש בעבר. כמו כן, עודכנו בישראל תקני איכות האוויר בשנת 2021, ובפרט אומצו ערכי היעד לחלקיקים ולחנקן דו חמצני בעקבות הפרסום של ארגון הבריאות העולמי. מאחר וערכי היעד הם ערכי הסף לסיכון בחישוב התמותה המוקדמת בישראל, שינויים אלו הביאו להערכה מחודשת השונה מאוד מההערכות הקודמות עבור מספר מקרי המוות המוקדם בישראל אשר פורסמו על ידי ה-OECD בעבר.

בעקבות עדכון הערכים הבריאותיים של מזהמי האוויר על ידי ארגון הבריאות העולמי והמחקרים האפידמיולוגיים אשר קדמו לו, נעשתה בחינה מחדש של אומדן ההשפעות הבריאותיות של זיהום אוויר גם באירופה. בדוח<sup>8</sup> של סוכנות הסביבה האירופית (European Environmental Agency - EEA) אשר הוכן על ידי מרכז נושאי אירופאי לעניין בריאות האדם והסביבה (European Topic Center on Human health and the environment, ETC-HE) בשנת 2022 (להלן דוח ETC-HE 2022/10), מוצגת סקירה של הידע בתחום והעדכונים של השנים האחרונות, ומוצעת מתודולוגיה עדכנית לחישוב ההשפעות של זיהום אוויר על מקרי מוות מוקדם ואובדן שנות חיים. כותבי הדוח מציגים גם תוצאות של ניתוח אשר נעשה עבור כלל מדינות אירופה ומאפשר השוואה בין המדינות השונות.

המסמך שלפנינו מכמת את ההשפעות הבריאותיות של חשיפה לזיהום אוויר בישראל בשני מדדים: מקרי מוות מוקדם ואובדן שנות חיים, עבור כל אחת מהשנים 2015-2023. בנוסף לחישובים אלו, מוצגת בדוח זה השוואה למדינות אירופה כפי שהוצגה בדוח ETC-HE

<sup>7</sup> Ginsberg, G.M., Kaliner, E. & Grotto, I. Mortality, hospital days and expenditures attributable to ambient air pollution from particulate matter in Israel. *Isr J Health Policy Res* 5, 51 (2016).

<https://doi.org/10.1186/s13584-016-0110-7>

<sup>8</sup> <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2022-10-health-risk-assessment-of-air-pollution-and-the-impact-of-the-new-who-guidelines>

2022/10, וכן הסבר מפורט לגבי הפערים לעומת חישוב קודם של הערכת התמותה בישראל אשר פורסם על יד ה-OECD.

## ב. מתודולוגיה

המתודולוגיה בה נעשה שימוש מתבססת על המתודולוגיה המומלצת בדוח **ETC-HE 2022/10**. הסיכון הבריאותי לתמותה מוקדמת כתוצאה מחשיפה למזהמי אוויר מחושב כתוספת על הסיכון למוות מסיבות טבעיות. שיעור התוספת מבוסס באמצעות עקומות מנה-תגובה, אשר קובעות מהי תוספת הסיכון לכל עליה של 10 מק"ג/מק"ת של חשיפה מעל לערך ייחוס מוגדר עבור כל מזהם. כלומר, ההנחה היא שקיים קשר ליניארי בין רמת החשיפה לבין התוצאים הבריאותיים. חישוב מקרי המוות המוקדם ואבדן שנות החיים כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר מתבססים למעשה על שישה סוגי נתונים:

1. רמת הסיכון לתמותה מסיבות טבעיות בקרב האוכלוסייה: התמותה הנכללת היא מסיבות טבעיות בלבד, כלומר אינה כוללת מקרי מוות מתאונות, אלימות או פגיעה עצמית, וניתנת בחלוקה לפי קבוצות גיל ומין. נתון זה מחושב על ידי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, על בסיס נתוני אמת באוכלוסיית ישראל לכל שנה בנפרד (טבלה 2). עבור השנים 2020-2022 נכללת תמותה מקורונה.
  2. עקומות מנה-תגובה: תוספת הסיכון לתמותה כתוצאה מחשיפה למזהמי אוויר, אשר מבוססת באמצעות ערך עם רווח בר סמך של 95% (95% CI-Confidence Interval). הערך מייצג את תוספת הסיכון לכל עלייה בשיעור של 10 מק"ג/מק"ת בריכוזי המזהמים בסביבה. עקומות אלו מבוססות על מחקרים אפידמיולוגיים רחבי היקף מהעולם (Review). תוספת הסיכון היא כאמור בנוסף לכלל מקרי המוות מסיבות טבעיות לפי קבוצות גיל ומין.
  - עקומות המנה-תגובה בהן נעשה שימוש בדוח זה הן אלו אשר הומלצו בדוח **ETC-HE 2022/10** ומפורטות בטבלה 1 עבור חלקיקים נשימים עדינים, חנקן דו חמצני ואוזון.
  3. ערך הייחוס/ סף לסיכון בחשיפה לזיהום אוויר: הריכוז אשר חשיפה לריכוזים גבוהים ממנו מהווה פגיעה ודאית בבריאות האדם.
  - ערכי הייחוס/ סף לסיכון עבור המזהמים השונים הם אלו אשר הומלצו בדוח **ETC-HE 2022/10** ומפורטים בטבלה 1. עבור חלקיקים נשימים עדינים וחנקן דו חמצני, ערכים אלו הם גם ערכי היעד בישראל, מאחר שגם דוח **ETC-HE 2022/10** וגם ערכי היעד בישראל מתבססים על המלצות ארגון הבריאות העולמי משנת 2021. עבור אוזון, ערך הסף מוטמע בהגדרת המדד (**SOMO35**) כפי שיוסבר בהמשך.
  4. רמת החשיפה של האוכלוסייה למזהמי אוויר מעל ערך הסף לסיכון: ריכוז מזהמי האוויר אליו נחשפת האוכלוסייה, לאחר הפחתת ערך הסף לסיכון.
- בדוח זה חושבו ריכוזי המזהמים בנפרד עבור כל שנה על בסיס ממוצעים שנתיים של התחזיות השעתיות ממודל איכות אוויר של המשרד להגנת הסביבה, אשר שולבו עם נתוני אמת ממדידות בתחנות ניטור כלליות הכלולות במערך ניטור אוויר ארצי.

- פרטים לגבי אופן שילוב הנתונים ניתן למצוא בפרסומים קודמים<sup>9</sup>. בשנת 2021 עודכנה גרסת מודל איכות האוויר.
5. נתוני אוכלוסייה בחלוקה גיאוגרפית וקבוצות גיל ומין לכל שנה בהתבסס על נתוני למ"ס לפי אזורים סטטיסטיים.
- הנתונים לשנת 2023 לא היו זמינים במועד הכנת הדוח, ולכן עבור שנה זו נעשה שימוש בנתוני האוכלוסייה של שנת 2022.
6. נתוני תוחלת חיים באוכלוסייה בגילים נבחרים ולפי מין. מבוסס על לוחות תמותה שלמים (לגיל בודד) של הלמ"ס לשנים 2018-2022 באוכלוסייה הכללית. מנתונים אלו בוצעה חלוקה מחדש לקבוצות גיל על פי קבוצות הגיל בנתוני הלמ"ס לאוכלוסיית ישראל לפי אזור סטטיסטי כמפורט בטבלה 6. תוחלת החיים לכל קבוצת גיל חושבה כממוצע משוקלל של תוחלת החיים בכל שנתון גיל, בשקלול לפי גודל האוכלוסייה בקבוצות הגיל הרלוונטיות.

המזהמים אשר נכללו בדוח זה הם חלקיקים נשימים עדינים ( $PM_{2.5}$ ), חנקן דו חמצני ( $NO_2$ ) ואוזון ( $O_3$ ). עבור חלקיקים נשימים עדינים וחנקן דו חמצני גורם הסיכון הוא הממוצע השנתי של כל אחד מהמזהמים אשר מבטא חשיפה ארוכת טווח (כרונית) למזהמים. עבור אוזון, גורם הסיכון הוא מדד  $SOMO35^{11}$ , שהוא הריכוז היממתי השמונה שעותי המירבי מעל 35 חל"ב (חלקים לביליון, או 70 מק"ג/מק"ט) המצטבר לאורך השנה ומחולק במספר הימים בשנה (365). מדד זה מבטא חשיפה קצרת טווח לריכוזים גבוהים של אוזון. עבור כל מזהם חושבה החשיפה המשוקללת בישראל על פי שיעור החשיפה של האוכלוסייה בהפרדה לקבוצות גיל ומין בכל אזור סטטיסטי.

הסיכון עבור חלקיקים נשימים עדינים וחנקן דו חמצני חושב עבור אוכלוסייה בגיל 30 ומעלה, בעוד שעבור אוזון הסיכון הוא לכל קבוצות הגילים. ההבדל בקבוצות הגילים בין המזהמים נובע מקבוצות הגיל אשר נכללו במחקרים האפידמיולוגים אשר היוו את הבסיס להערכת עקומות המנה-תגובה.

החישוב המוצג בדוח זה הוא עבור כלל אוכלוסיית ישראל בכל שנה בנפרד בין השנים 2015-2023.

חישוב התמותה המוקדמת כתוצאה מחשיפה לכל אחד מהמזהמים נעשה בנפרד ולא ניתן לסכום אותם לערך כולל בחיבור פשוט, מאחר וקיים מתאם מסוים בסיכון הנובע מהמזהמים השונים, מתאם חיובי או שלילי. מתאם זה נובע מכך שבמחקרים האפידמיולוגים אשר מחשבים את עקומות המנה-תגובה לא ניתן לבדוד את ההשפעה הבריאותית והתגובות הפיזיולוגיות של כל אחד מהמזהמים בנפרד. כך למשל, הערכת התמותה כתוצאה מחשיפה

<sup>9</sup> | Levy, I Karakis, T Berman, M Amitay, Z Barnett-Itzhaki (2020). A hybrid model for evaluating exposure of the general population in Israel to air pollutants. Environmental Monitoring and Assessment 192 (1),4

<sup>10</sup> דוח שנתי מצב איכות האוויר בישראל, שנת 2015

<sup>11</sup> SOMO35: Sum Ozone Maximum Over 35. Annual sum of daily maximum running 8-h average concentrations above 35 ppb.

לחלקיקים נשימים עדינים כוללת בתוכה חלק מסוים מההשפעות הסינרגטיות של המזהמים האחרים, חלק אשר קשה להעריך אותו. מחקרים אפידמיולוגיים קודמים<sup>12</sup> העריכו שבסכימה של מקרי המוות כתוצאה מחלקיקים נשימים עדינים וחנקן דו חמצני תיתכן ספירה כפולה של עד 30%. לפיכך, בחישוב סך התמותה משלושת המזהמים יחדיו הופחת מספר מקרי המוות מחנקן דו חמצני ב-30%.

טבלה 1 עקומות מנה-תגובה וערכי ייחוס למזהמים השונים

מזהם/ גורם סיכון	תוצאים בריאותיים	ערך סף לסיכון	סיכון לכל 10 מק"ג/מק"ת (רווח בר סמך 95%)
PM2.5 ממוצע שנתי	תוספת סיכון לתמותה מסיבות טבעיות בקרב אוכלוסייה בגיל 30 ומעלה	5 מק"ג/מק"ת	1.08 (1.06-1.09)
NO2 ממוצע שנתי	תוספת סיכון לתמותה מסיבות טבעיות בקרב אוכלוסייה בגיל 30 ומעלה	10 מק"ג/מק"ת	1.02 (1.01-1.04)
SOMO35*	תוספת סיכון לתמותה מסיבות טבעיות בקרב אוכלוסייה בכל הגילים	70 מק"ג/מק"ת	1.0043 (1.0034-1.0052)

\* סכום הערכים השמונה-שעתיים היממתיים מעל 70 מק"ג/מק"ת, מחולק במספר הימים בשנה

## הסתייגויות למתודולוגיה:

- א. החישובים המוצגים בדוח זה אינם כוללים הערכה של נטל התחלואה מחשיפה למזמהמי אוויר הנכללים בו. ידוע, למשל, כי לזיהום אוויר חלקיקי ולחנקן דו חמצני יתכנו השפעות בריאותיות ארוכות טווח פרט לתמותה (כגון סוכרת, מחלות לב וריאה) ולאוזון יש השפעות קצרות טווח כגון מחלות נשימתיות. יתרה מכך, הדוח אינו כולל חישובים של שנות חיים עם מוגבלות<sup>13</sup> כתוצאה מנטל התחלואה. חישובים אלו יוצגו בנפרד בדוח המשך לדוח הנוכחי.
- ב. החישובים המוצגים בדוח זה אינם כוללים את ההשפעות הבריאותיות של החשיפה למזמהמי אוויר נוספים, פרט לשלושה שצוינו, אשר מיוחסות להם השפעות בריאותיות שונות ואף תמותה. ישנן מספר סיבות לכך. ראשית, לא עברו כולם קיימות פונקציות מנה-תגובה עדכניות ואשר מבוססות על מחקרים רחבי היקף. בנוסף, קיים קושי בהערכת החשיפה למזהמים אלו (לרובם המכריע אין ניטור רציף ומספר המדידות הוא קטן מידי על מנת לייצר הערכת חשיפה ברמת אמינות גבוהה לכל אוכלוסיית ישראל). כמו כן, ההשפעה של מזהמים אלו היא לרוב מקומית יותר מאחר ומרביתם נמדדים בריכוזים גבוהים רק בסמוך למקורות הפליטה, אם בכלל.

<sup>12</sup> WHO, 2013, Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.

<sup>13</sup> Years Lived with Disability (YLDs)



- ג. בחישוב התמותה ואובדן שנות החיים עבור שנת 2023, נעשה, כאמור, שימוש בנתוני האוכלוסייה הזמינים עבור שנת 2022. בשל כך תיתכן הערכת חסר/יתר לעומת נתוני האמת של האוכלוסייה בשנת 2023.
- ד. פונקציות מנה-תגובה: יש לציין כי פונקציות המנה-תגובה בהן נעשה שימוש בדוח זה הן תוצאה של מחקרים אשר בוצעו באזורים גיאוגרפים שונים, ובפרט צפון אמריקה ואירופה. באזורים אלו מקור החלקיקים הוא בעיקר מפעילות אנושית (תחבורה, תעשייה, שריפות, גידול בעלי חיים וכדומה). בישראל, לעומת זאת, ידוע כי בנוסף לפליטת המזהמים מפעילות אנושית זו, יש תרומה משמעותית לחלקיקים מדבריים אשר מקורם מצפון אפריקה, חצי האי ערב ואף מהנגב והערבה. לפיכך, ההרכב הכימי של החלקיקים הוא שונה ולכן ניתן לצפות שההשפעות הבריאותיות של החלקיקים יהיו שונות מאלו אשר מבוטאות בפונקציות המנה-תגובה הקיימות. בנוסף לכך, ישנם מאפיינים ייחודיים של האוכלוסייה במדינות אלו אשר שונים מאוכלוסיית ישראל, כגון הרגלי תזונה, גנטיקה, ואף הבדלים התנהגותיים.
- ה. על מנת לדייק את החישובים ולהתאים לישראל, יש צורך במחקר אפידמיולוגי אשר יחשב פונקציות מנה-תגובה עבור האוכלוסייה בישראל, לפחות עבור המזהמים חלקיקים נשימים עדינים, חנקן דו חמצני ואוזון.
- ה. השפעת מגפת הקורונה: מגפת קורונה מוכרת בהשפעות ישירות על מערכת הנשימה ומערכת הלב וכלי דם של האדם הנדבק. בתקופה של תחילת המגפה, הסיכון לתמותה בחלק מהאוכלוסייה החולה בנגיף קורונה עלה בצורה משמעותית. יתרה מכך, לפי מחקרים<sup>14</sup> <sup>15</sup> ידוע על עלייה בתגובות הבריאותיות, ובעיקר בתמותה, בקרב חולי **COVID-19** על כל עלייה בזיהום אוויר אליו נחשפו החולים. מדובר על מידע ראשוני, ועדיין חסרה הערכה מדויקת יותר באוכלוסיית ישראל. מכיוון שלא נעשתה הערכת שינוי ערכי תמותה טבעית, עלולה להיות הערכת יתר של נתוני תמותה טבעית בשנים של התפרצות המגפה. כתוצאה מכך, ההשפעה של זיהום אוויר עלולה להיות יותר משמעותית במהלך שנים אלו ממה שמוצג בדוח זה.

<sup>14</sup> <https://www.hsph.harvard.edu/c-change/subtopics/coronavirus-and-pollution/>

<sup>15</sup> Barnett-Itzhaki Z, Levi A. Effects of chronic exposure to ambient air pollutants on COVID-19 morbidity and mortality - A lesson from OECD countries. Environ Res. 2021 Apr;195:110723. doi: 10.1016/j.envres.2021.110723. Epub 2021 Jan 21. PMID: 33484722; PMCID: PMC7826117.

טבלה 2: תוחלת חיים לשנים 2018-2022 ושיעור תמותה באוכלוסייה בישראל מסיבות טבעיות בלבד (מספר מקרי מוות לכל 100,000 נפש) לשנים 2015-2022, לפי קבוצות מין וגיל. נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה.

שיעור תמותה 2022	שיעור תמותה 2021	שיעור תמותה 2020	שיעור תמותה 2019	שיעור תמותה 2018	שיעור תמותה 2017	שיעור תמותה 2016	שיעור תמותה 2015	ת. חיים 2018	מין	קבוצת גיל
296	315	255	335	292	317	334	329	80.8	גברים	עד 1
14	15	10	13	11	15	13	14	78.6		1-4
6	7	5	6	8	7	10	9	74.1		5-9
6	6	7	6	6	6	8	10	69.1		14-10
10	9	11	14	17	17	14	19	64.2		19-15
22	22	19	15	18	16	19	20	59.3		24-20
29	29	22	24	25	20	24	20	54.5		29-25
39	39	39	36	33	43	36	37	49.6		34-30
57	60	55	57	52	47	51	50	44.8		39-35
91	96	82	76	96	86	91	99	40.0		44-40
150	149	156	157	154	163	158	161	35.2		49-45
248	293	282	271	312	297	306	340	30.6		54-50
458	499	498	498	489	498	490	504	26.2		59-55
796	851	856	791	777	770	804	818	21.9		64-60
1,311	1,321	1,296	1,179	1,246	1,257	1,260	1,344	17.9		69-65
2,039	2,164	2,142	1,927	1,982	2,015	2,114	2,236	14.2		74-70
3,407	3,532	3,673	3,444	3,380	3,530	3,628	3,772	10.9		79-75
6,437	6,142	6,186	5,834	5,844	6,203	6,021	6,605	8.2	84-80	
15,401	14,856	14,884	14,141	13,777	14,893	13,926	14,946	5.1	85 ומעלה	
529	526	518	484	480	495	484	509		נשים	סה"כ גברים
260	240	210	239	290	277	283	295	84.8		עד 1
14	12	9	14	10	14	11	11	82.6		1-4
6	4	6	4	5	7	7	5	78.1		5-9
7	6	6	7	5	4	9	9	73.1		14-10
8	9	8	8	8	10	10	8	68.1		19-15
14	13	11	12	8	12	11	10	63.2		24-20
14	14	15	15	15	15	15	14	58.3		29-25
22	24	20	21	19	25	26	20	53.3		34-30
39	35	37	40	37	36	48	33	48.4		39-35
55	63	61	62	58	66	71	67	43.5		44-40
99	108	95	89	96	95	103	106	38.7		49-45
157	161	165	172	174	160	172	200	33.9		54-50
267	264	266	268	266	285	288	285	29.3		59-55
410	442	453	449	437	467	471	458	24.7		64-60
718	753	708	749	735	757	740	797	20.3		69-65
1,194	1,305	1,211	1,204	1,201	1,230	1,275	1,345	16.1		74-70
2,113	2,226	2,241	2,295	2,266	2,334	2,383	2,522	12.3	79-75	
4,601	4,663	4,571	4,413	4,450	4,524	4,969	5,014	9.1	84-80	
14,016	13,821	13,657	13,198	12,718	12,855	13,295	13,182	5.3	85 ומעלה	
514	516	501	491	480	486	502	505		סה"כ נשים	

## ג. תוצאות

### מקרי מוות מוקדם

הריכוזים של שלושת המזהמים אליהם נחשפה האוכלוסייה בשנים 2015-2023 מוצגים באיור 1 ובטבלאות 3 ו-4. מספר מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לכל אחד ממזהמי האוויר בישראל בשנים 2015-2023 מפורט בטבלה 3 ובאיור 3.

הריכוז הממוצע של חלקיקים נשימים עדינים אליהם נחשפה האוכלוסייה בישראל נע בין 15.7 מק"ג/מק"ת בשנת 2020, שנה בה הייתה שכיחות נמוכה של מקרי הסעת אבק וגם שנת קורונה בה פעילות מקורות הזיהום האנתרופוגנים הייתה מופחתת, לבין 21.0 מק"ג/מק"ת בשנת 2015, שנה בה הייתה שכיחות גבוהה של מקרי הסעת אבק מדברי לישראל. ביחס לערכי איכות האוויר בישראל, כל האוכלוסייה בישראל חשופה לריכוזים הגבוהים מערך היעד השנתי לחלקיקים נשימים עדינים (5 מק"ג/מק"ת) אולם נמוכים מערך הסביבה השנתי (25 מק"ג/מק"ת).

המספר הנמוך ביותר של מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים היה 3,931 מקרים בשנת 2018 (רווח בר סמך 95% של 2,948-4,422), והגבוה ביותר היה 5,375 מקרים בשנת 2015 (רווח בר סמך 95% של 4,031-6,046). ככלל, השונות הקיימת במספר מקרי המוות המוקדם לאורך השנים תואמת את שיעור החשיפה של האוכלוסייה למזהם זה. יחד עם זאת, בשנים 2020 ו-2021 בהן נמדדו ריכוזי החלקיקים הנמוכים ביותר, עלה גם מספרי מקרי המוות המוקדם בשל החשיפה לזיהום אוויר. הסיבה לכך היא העלייה במספר מקרי המוות מסיבות טבעיות בשל מגפת הקורונה. התנהגות זו היא דוגמה לאינטראקציה בין שני גורמי סיכון בריאותיים.

בין השנים 2015 ל-2023 ניתן להבחין במגמה ברורה של ירידה בריכוזי החנקן הדו חמצני (איור 1), כאשר שנת 2020 בולטת בריכוזים הנמוכים בשל הירידה בפליטות מכלי הרכב בשל הפחתת הנסועה בעקבות הסגרים במהלך ההתמודדות עם מגפת הקורונה. משמעות הירידה בריכוזי החנקן הדו חמצני היא שאם בשנת 2015 כ-73% מהאוכלוסייה היה חשוף לריכוזים הגבוהים מערך היעד השנתי (10 מק"ג/מק"ת), בשנת 2023 רק כ-63% מהאוכלוסייה היה חשוף לריכוזים הגבוהים מערך היעד. מגמה זו באה לידי ביטוי גם בירידה במספר מקרי המוות המוקדם הנוספים כתוצאה מחשיפה למזהם זה (טבלה 3, טבלה 1 ואיור 3). חשיפה לחנקן דו חמצני הייתה אחראית למספר נמוך יותר של מקרי מוות מוקדם בהשוואה לחלקיקים, אשר נע בין 346 מקרים בשנת 2023 (רווח בר סמך 95%, 173-692) לבין 628 מקרים בשנת 2015 (רווח בר סמך 95%, 314-1,256).

עבור אוזון, המגמות הן של החשיפה המשוקללת של האוכלוסייה והן של מקרי המוות המוקדם נמצאות במגמת עלייה, ההיפך מהמגמה של החנקן הדו חמצני (איור 1). כיוון שמדד **SOMO35** אינו מהווה תקן איכות אוויר (כלומר, ערך יעד או סביבה), ולשם המחשה של המגמות בריכוזים קצרי טווח של אוזון בישראל, מובאות באיור 2 סדרות זמן של מספר החריגות בשנה מערכי היעד והסביבה השמונה שעתיים המרביים לאוזון עבור תחנות ניטור נבחרות. כפי שניתן לראות באיור העליון, פרט לתחנת הניטור בהרי יהודה (אלון שבות), במרבית התחנות נרשמו חריגות במספר נמוך מהמותר (10 חריגות מותרות בשנה) עבור ערך

הסביבה השמונה שעתי לאוזון (140 מק"ג/מק"ת). לעומת זאת, בכל התחנות נרשמו מאות חריגות מערך היעד השמונה שעתי (100 מק"ג/מק"ת), משמעותית יותר מארבע החריגות המותרות בשנה. נתונים אלו ממחישים שבדומה למצב עם חלקיקים נשימים עדינים, החשיפה של האוכלוסייה בישראל לריכוזים קצרי טווח של אוזון הם לעיתים תכופות מעל ערך היעד אולם מתחת לערך הסביבה.

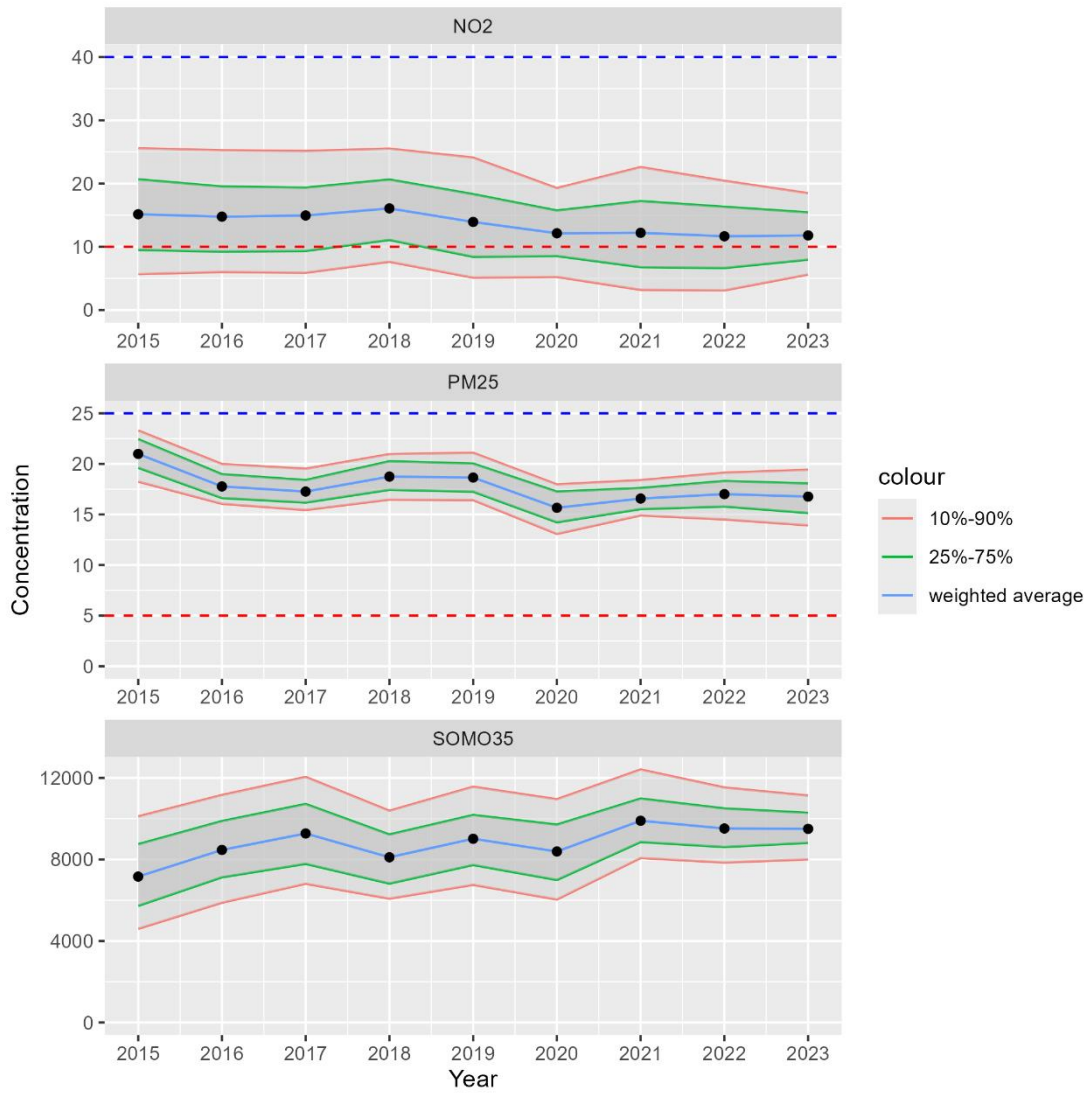
החשיפה לאוזון אחראית למספר דומה של מקרי מוות מוקדם כמו חנקן דו חמצני, ונע בין 348 בשנת 2018 (רווח בר סמך 95%, 278-426) לבין 575 בשנת 2021 (רווח בר סמך 95%, 454-695). מגמה זו של עלייה בשיעורי החשיפה לאוזון אינה מפתיעה, ונובעת מפירוק האוזון על ידי תחמוצות החנקן באזורים בהם תחמוצות החנקן זמינות בריכוזים גבוהים, כלומר בערים גדולות בהן יש פליטות משמעותיות מכלי רכב. ככל שחלה הפחתה בפליטות תחמוצות החנקן כתוצאה משיפור בכלי הרכב וריכוזי החנקן הדו חמצני יורדים, מתרחש פחות פירוק של אוזון, וריכוזו באוויר עולה.

סכימה של מקרי המוות המוקדם מחשיפה לשלושת המזהמים יחד (לאחר התחשבות בספירה כפולה), נעה בין 4,641 בשנת 2018 (רווח בר סמך 95%, 3,404-5,566) לבין 6,166 בשנת 2015 (רווח בר סמך 95%, 4,529-7,352). יש לציין כי שנת 2015 הייתה שנה עם שכיחות גבוהה של מקרי הסעת אבק מדברי לישראל, ושנה עם שיעורים גבוהים של תמותה מסיבות טבעיות. שילוב זה הביא לשיא במקרי המוות המוקדם מחשיפה לזיהום אוויר בישראל. שנת 2018 לעומת זאת מייצגת את המצב ההפוך, ונמדדו בה ריכוזים ממוצעים נמוכים יחסית של חלקיקים נשימים עדינים, ושיעורי תמותה של האוכלוסיות הרגישות (מבוגרים) היו נמוכים ביחס לשנים אחרות.

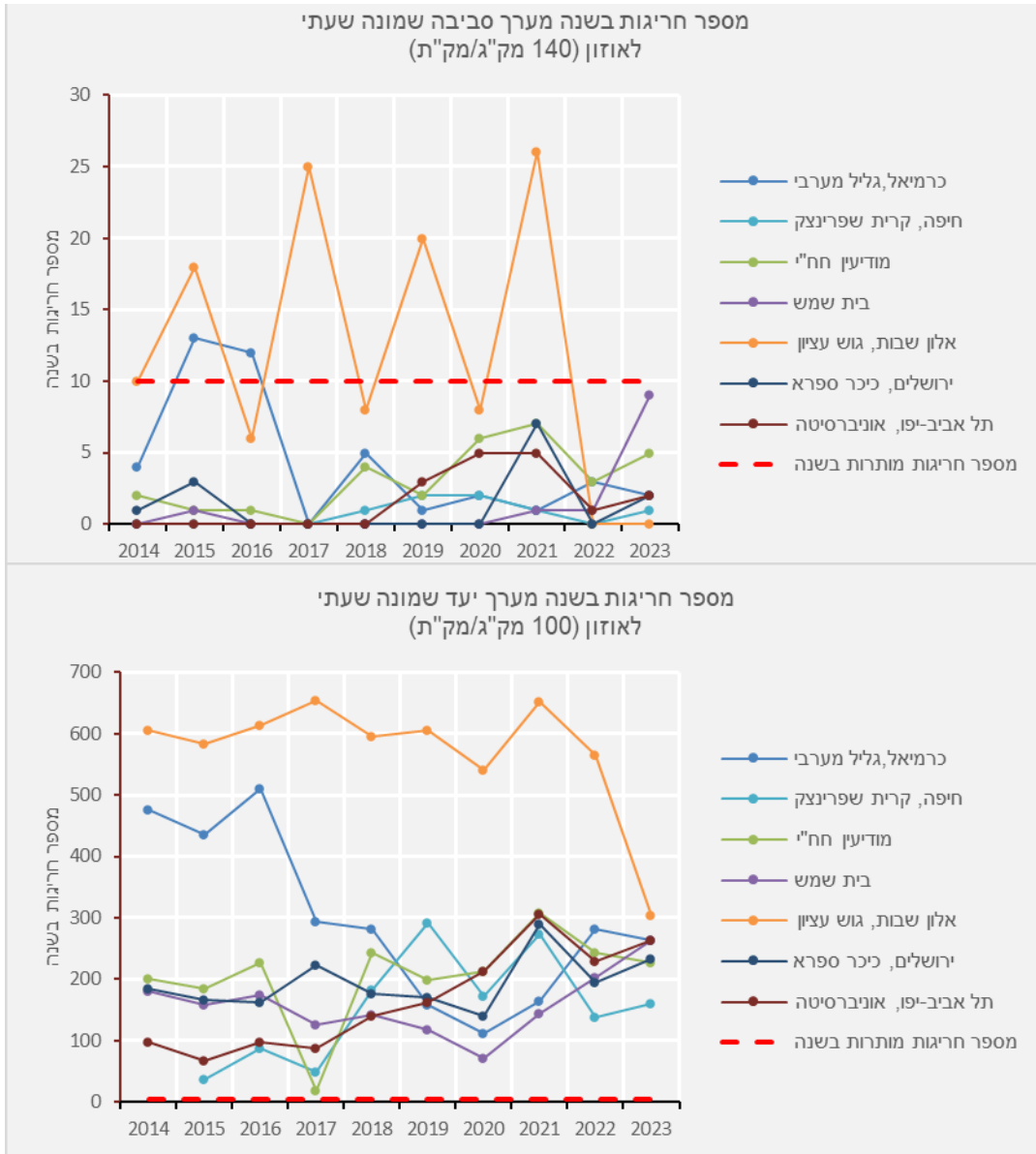
## אובדן שנות חיים

טבלה 4 מפרטת את אובדן שנות החיים בישראל כתוצאה ממקרי התמותה לכל מזהם. חשיפה לחלקיקים נשימים עדינים בשנת 2018 הייתה אחראית למספר הנמוך ביותר של אובדן שנות חיים של 46,216 (רווח בר סמך 95%, 34,662-51,993), לעומת החשיפה בשנת 2015 אשר הייתה אחראית למספר הגבוה ביותר של אובדן שנות חיים של 65,289 (רווח בר סמך 95%, 48,966-73,450).

אובדן שנות החיים בשל חשיפה לחנקן דו חמצני נע בין 3,802 (רווח בר סמך 95%, 1,901-7,605) בשנת 2023 לבין 7,218 (רווח בר סמך 95%, 3,609-14,435) בשנת 2015. עבור מרבית השנים (פרט לשנים 2015 ו-2018), אוזון היה אחראי למספר רב יותר של אובדן שנות חיים בהשוואה לחנקן דו חמצני, אשר נע בין 5,547 (רווח בר סמך 95%, 4,386-6,708) בשנת 2018 לבין 8,896 (רווח בר סמך 95%, 7,034-10,758) בשנת 2023.



איור 1: ריכוז ממוצע משוקלל לאוכלוסייה עבור כל אחד ממזהמי האוויר בשנים 2015-2023 (כחול). קווים אדומים מציינים את הריכוזים אליהם חשופים 10% ו-90% מהאוכלוסייה והקווים הירוקים את הריכוזים אליהם חשופים 25% ו-75% מהאוכלוסייה. הקו המקווקו אדום מציינ את ערך היעד השנתי למזהם שהוא ערך הסף לסיכון מחשיפה למזהם. קו מקווקו כחול מציינ את ערך הסביבה השנתי למזהם



איור 2: מגמות במספר החריגות מערך הסביבה (140 מק"ג/מק"ת, איור עליון) והיעד (100 מק"ג/מק"ת, איור תחתון) השמונה שעתיים לאוזון בתחנות ניטור נבחרות בישראל. הקו האדום המקווקו מציין את מספר החריגות המותרות לכל אחד מהערכים.

טבלה 3: מקרי מוות מוקדם עבור ישראל בשנים 2015-2023. סך אוכלוסיית ישראל בכל שנה, ריכוזים ממוצעים של מזדמני אוויר, מספר מקרי מוות מוקדם (רווח בר סמך 95%) ומספר מקרי מוות מוקדם לכל 100 אלף נפש, למזדמנים חלקיקים נשימים עדינים, חנקן דו חמצני ואוזון.

סה"כ מקרי מוות מוקדם משלושת המזדמנים	אוזון			חנקן דו חמצני			חלקיקים נשימים עדינים			אוכלוסייה (אלפים)	שנה
	תמותה/100k תושבים	מקרי תמותה מוקדמת בשנה	SOMO35	תמותה/100k תושבים	מקרי תמותה מוקדמת בשנה	ריכוז ממוצע שנתי	תמותה/100k תושבים	מקרי תמותה מוקדמת בשנה	ריכוז ממוצע שנתי		
6,166 (4,529-7,352)	4.2	352 (278-426)	7,160	7.5	628 (314-1,256)	15.1	64.0	5,375 (4,031-6,046)	21.0	8,397	2015
4,988 (3,658-5,994)	4.7	406 (321-492)	8,466	6.6	568 (284-1,137)	14.8	48.9	4,184 (3,138-4,707)	17.8	8,559	2016
5,094 (3,733-6,145)	5.3	465 (368-563)	9,275	7.0	611 (306-1,223)	14.9	48.1	4,201 (3,150-4,726)	17.3	8,725	2017
4,641 (3,404-5,566)	3.9	348 (275-421)	8,107	5.8	516 (258-1,033)	14.2	44.2	3,931 (2,948-4,422)	18.7	8,900	2018
5,686 (4,188-6,770)	5.2	472 (373-571)	9,015	6.0	545 (272-1,090)	13.9	53.3	4,832 (3,624-5,436)	18.6	9,070	2019
4,807 (3,559-5,674)	5.0	458 (362-554)	8,390	4.0	372 (186-744)	12.1	44.4	4,088 (3,066-4,599)	15.7	9,214	2020
5,473 (4,041-6,509)	6.1	575 (454-695)	9,899	5.3	495 (248-991)	12.2	48.5	4,552 (3,414-5,121)	16.6	9,378	2021
5,658 (4,194-6,667)	5.9	567 (448-686)	9,519	4.3	415 (207-829)	11.7	50.1	4,800 (3,600-5,401)	17.0	9,584	2022
5,510 (4,095-6,459)	5.9	569 (450-688)	9,502	3.6	346 (173-692)	11.8	49.0	4,699 (3,524-5,286)	16.8	*9,584	2023

\* נתוני אוכלוסייה בשנת 2022.

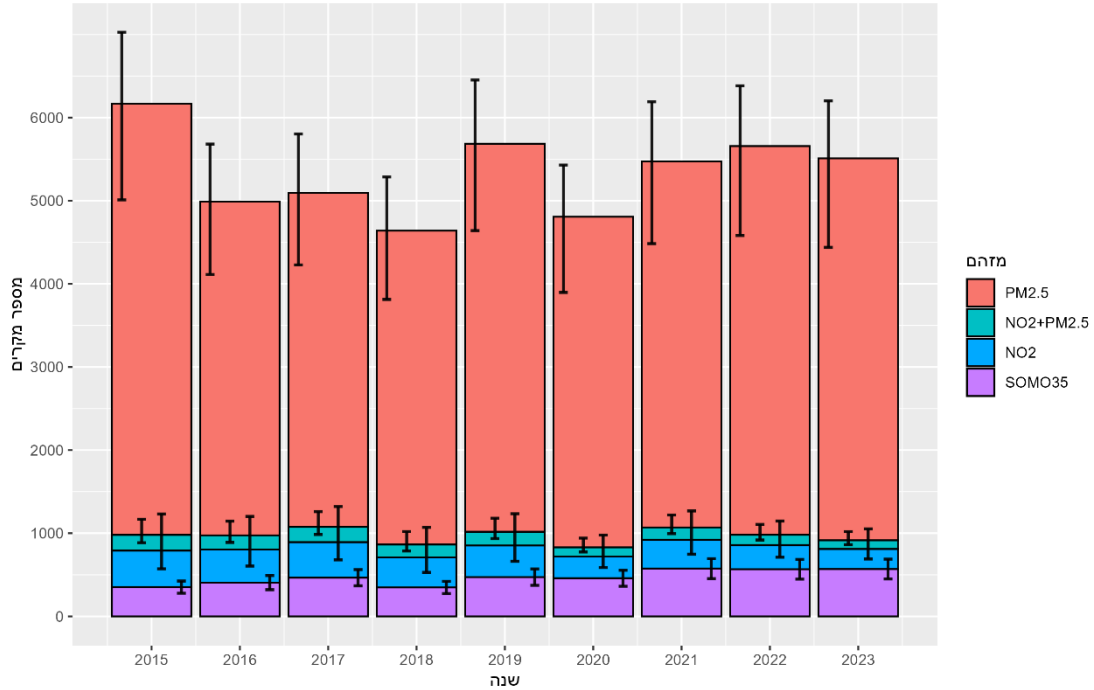
טבלה 4: אובדן שנות חיים בישראל בשנים 2015-2023. סך אוכלוסיית ישראל בכל שנה, ריכוזים ממוצעים של מזהמי אוויר, סך שנות חיים שאבדו בשל תמותה מוקדמת (רווח בר סמך 95%) ומספר שנות חיים שאבדו לכל 100 אלף נפש, למזהמים חלקיקים נשימים עדינים, חנקן דו חמצני ואוזון

שנה	אובלוסייה (אלפים)	חלקיקים נשימים עדינים			חנקן דו חמצני			אוזון			סה"כ אובדן שנות חיים משלושת המזהמים
		ריכוז ממוצע שנתי	אובדן שנות חיים בשנה	אובדן שנות חיים /100 תושבים	ריכוז ממוצע שנתי	אובדן שנות חיים בשנה	אובדן שנות חיים /100 תושבים	SOMO35	אובדן שנות חיים בשנה	אובדן שנות חיים /100 תושבים	
2015	8,397	21.0	65,289 (48,966-73,450)	778	15.1	7,218 (3,609-14,435)	7,160	72.9	6,117 (4,837-7,397)	76,458 (56,329-90,952)	
2016	8,559	17.8	50,816 (38,112-57,169)	594	14.8	6,512 (3,256-13,024)	8,466	82.7	7,078 (5,597-8,559)	62,453 (45,988-74,845)	
2017	8,725	17.3	50,567 (37,925-56,888)	580	14.9	6,957 (3,479-13,914)	9,275	90.5	7,900 (6,247-9,554)	63,337 (46,607-76,182)	
2018	8,900	18.7	46,216 (34,662-51,993)	519	14.2	5,902 (2,951-11,803)	8,107	62.3	5,547 (4,386-6,708)	55,893 (41,113-66,962)	
2019	9,070	18.6	57,967 (43,476-65,213)	639	13.9	6,184 (3,092-12,367)	9,015	86.5	7,846 (6,204-9,489)	70,142 (51,844-83,359)	
2020	9,214	15.7	48,546 (36,409-54,614)	527	12.1	4,193 (2,096-8,386)	8,390	78.0	7,188 (5,684-8,693)	58,669 (43,561-69,177)	
2021	9,378	16.6	54,413 (40,810-61,215)	580	12.2	5,589 (2,795-11,179)	9,899	98.1	9,200 (7,275-11,126)	67,526 (50,041-80,166)	
2022	9,584	17.0	56,239 (42,179-63,269)	587	11.7	4,579 (2,289-9,158)	9,519	92.7	8,884 (7,025-10,744)	68,329 (50,807-80,423)	
2023	*9,584	16.8	55,019 (41,264-61,896)	574	11.8	3,802 (1,901-7,605)	9,502	92.8	8,896 (7,034-10,758)	66,576 (49,629-77,977)	

\* נתוני אוכלוסייה בשנת 2022.

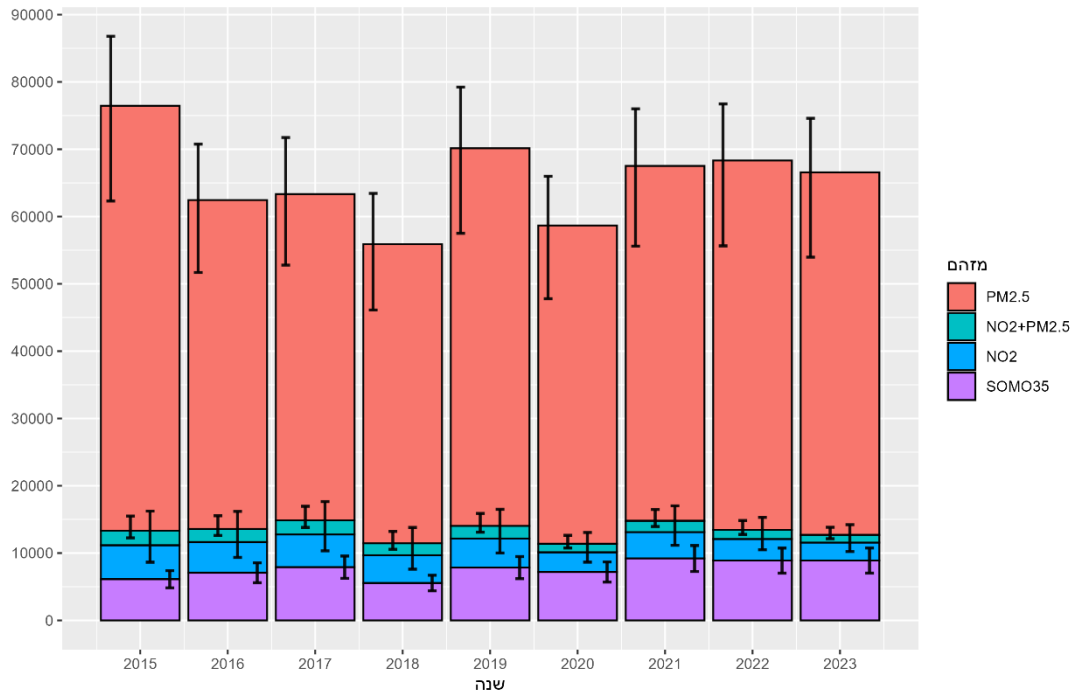


מקרי מוות מוקדם בשנה כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר



איור 3: מקרי מוות מוקדם המיוחסים לכל אחד מהמזהמים בשנים 2015-2023, עם ציון רווח בר סמך 95%

אובדן שנות חיים בשנה כתוצאה מזיהום אוויר



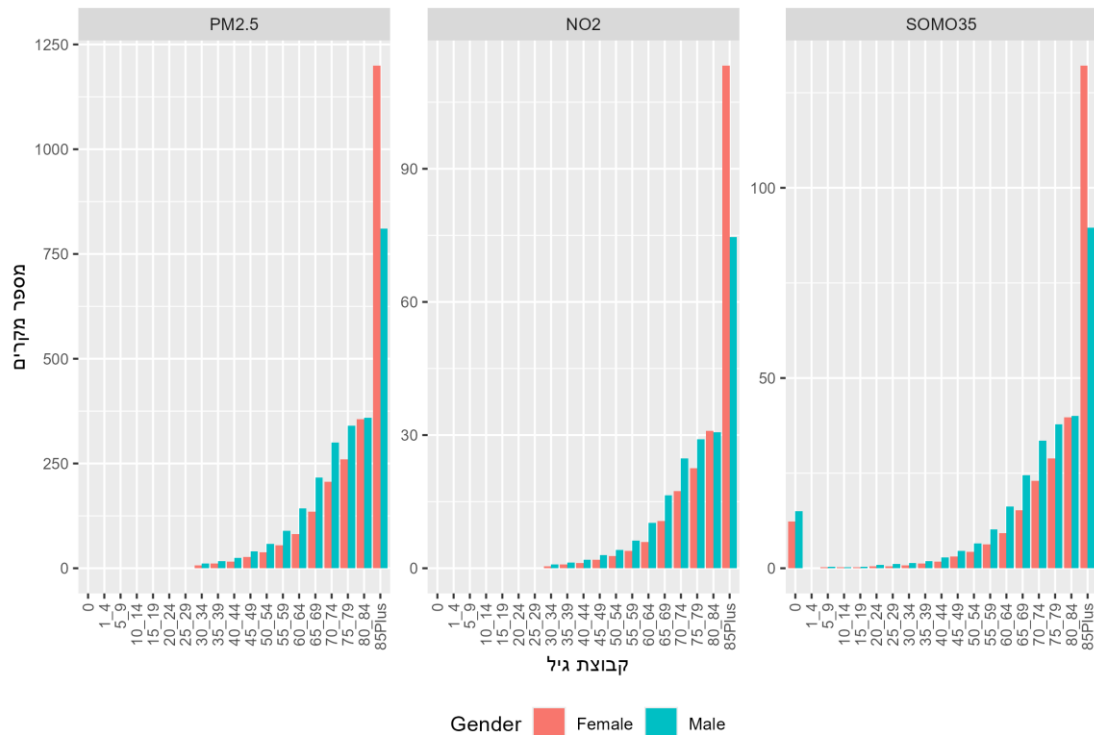
איור 4: אובדן שנות חיים המיוחסים לכל אחד מהמזהמים בשנים 2015-2023 עם ציון רווח בר סמך 95%

## חלוקה לקבוצות גיל ומין

כפי שמוסבר לעיל, הסיכון לתמותה מוקדמת כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר מעל ערכי הסף מחושב כתוספת לסיכון לתמותה מסיבות טבעיות. מטבע הדברים, הסיכון לתמותה מסיבות טבעיות הוא גבוה יותר בקרב אנשים מבוגרים, ולכן גם מקרי התמותה מזיהום אוויר הם רבים יותר בקבוצות גיל אלו. איור 5 מציג את מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לכל אחד ממזהמי האוויר בנפרד בשנת 2022, לפי קבוצות גיל ומין. עבור שלושת המזהמים, חלק הארי של מקרי התמותה הוא בקבוצות הגיל המבוגרות יותר. כמעט בכל קבוצות הגיל התמותה גבוהה יותר בקרב גברים. בקבוצת הגיל המבוגרת ביותר (85 ומעלה) התמותה בקרב נשים גבוהה יותר וזאת משום שתוחלת החיים שלהן גבוהה יותר והן שורדות יותר עד לגיל זה.

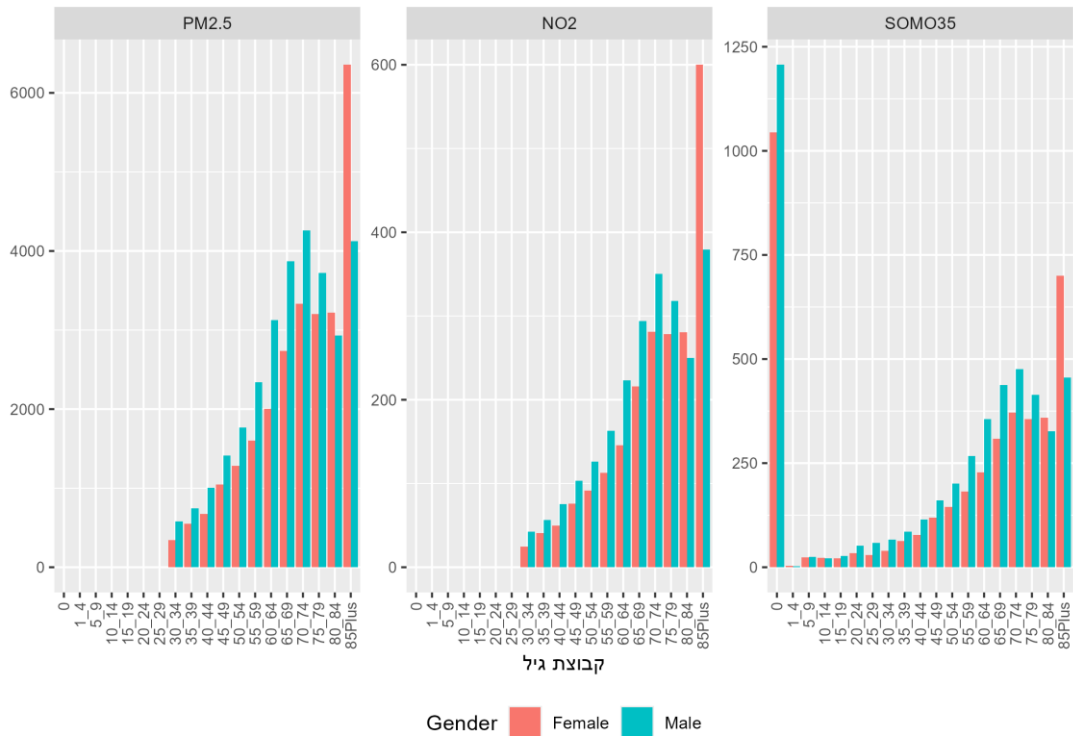
לעומת מקרי התמותה המוקדמת, בחישוב של אבדן שנות חיים יש ביטוי רב יותר לקבוצות הגיל הצעירות, בשל יתרת החיים הרבה יותר בגילים צעירים. איור 6 ממחיש זאת, ובפרט ניתן לראות בו את התרומה של מקרי מוות מוקדם בקרב תינוקות (עד גיל שנה) כתוצאה מחשיפה לאוזון. נזכיר שוב כי לגבי שני המזהמים האחרים החישוב מתייחס לגילי 30 ומעלה ולכן אין מידע על תינוקות וילדים.

מקרי מוות מוקדם בשנה כתוצאה מזיהום אוויר לפי קבוצות גיל 2022



איור 5: מקרי מוות מוקדם בשנת 2022 כתוצאה מחשיפה למזהמי אוויר בחלוקה לפי קבוצות גיל ומין. (יש לשים לב להבדלים בערכים בציר האנכי בין המזהמים השונים)

אובדן שנות חיים בשנה כתוצאה מזיהום אוויר לפי קבוצות גיל  
2022



איור 6: אובדן שנות חיים בשנת 2022 כתוצאה מחשיפה למהמי אוויר בחלוקה לפי קבוצות גיל ומין. (יש לשים לב להבדלים בערכים בציר האנכי בין המזהמים השונים)

## ד. השוואה למדינות אירופה

שיעורי התמותה המוקדמת ואובדן שנות החיים בישראל אשר הוצגו בסעיפים הקודמים הושוו לתוצאות הניתוח לכל מדינות אירופה לשנת 2020 כפי שהוצגו בדוח **ETC-EH 2022**. הדוח כולל תוצאות עבור 41 מדינות (27 מדינות האיחוד האירופי ועוד 14 מדינות שאינן חברות באיחוד<sup>16</sup>). טבלה 5 מציגה את התוצאות במספר מדינות נבחרות באירופה (מדינות בעלות אוכלוסייה גדולה, שאינן מדינות בעלות אקלים קר מצפון אירופה). טבלה 7 בנספח מציגה את הנתונים המלאים עבור כלל המדינות בדוח. מאחר ולכל מדינה אוכלוסייה בגודל שונה, מוצגות התוצאות בטבלה 5 הן בערכים מוחלטים והן בשיעורים, כסך מקרי תמותה מוקדמת לכל 100,000 נפש. איור 7 מציג מפות של שיעורי התמותה לכל מאה אלף תושבים למדינות הכלולות בדוח וכן לישראל בשנת 2020. מעניין לציין כי מבין כל המדינות המוצגות בדוח, רק בארבע מהן ריכוז החלקיקים הנשימים העדינים הוא מתחת לערך הסף המומלץ על ידי ארגון הבריאות העולמי (פינלנד, איסלנד, שבדיה ונורבגיה).

<sup>16</sup> אלבניה, אנדורה, בוסניה הרצגובינה, איסלנד, קוסובו, ליכטנשטיין, מונקו, מונטנגרו, צפון מקדוניה, נורווגיה, סן מרינו, סרביה, שוויץ ותורכיה

איור 8 מציג את התפלגות מקרי התמותה המוקדמת למאה אלף תושבים של כלל המדינות בהשוואה לישראל. עבור חלקיקים נשימים עדינים, בשנת 2020 היו 44.4 מקרי מוות מוקדם בישראל למאה אלף תושבים בקרב כלל האוכלוסייה. מספר זה נמוך ביחס למדינות אחרות באירופה בהן ריכוז החלקיקים הממוצע נמצא בטווח דומה, דוגמת סלובקיה, יוון ואיטליה עם ריכוזים של 14.5, 14.5 ו-15.0 מק"ג/מק"ט, בהתאמה, ושיעור מקרי מוות מוקדם למאה אלף תושבים של 71, 82 ו-88, בהתאמה. באופן דומה, מספר שנות החיים שאבדו בישראל בשנת 2020 כתוצאה מחשיפה לחלקיקים למאה אלף תושבים, הוא 456 (טבלה 5 ואיור 8), נמוך יותר מסלובקיה, יוון ואיטליה עם אובדן של 838, 804 ו-775 שנות חיים לכל מאה אלף תושבים.

עבור חנקן דו חמצני, שיעור התמותה ומספר שנות החיים שאבדו לכל מאה אלף תושבים בישראל דומה לשיעור התמותה באירופה, אולם עדיין בטווח התחתון של ההתפלגות עבור ריכוזים דומים במדינות אחרות (איור 8 וטבלאות 6 ו-7).

גם עבור אוזון (מדד **SOMO35**), למרות שחשיפת האוכלוסייה בישראל היא גבוהה מאוד ביחס לאירופה (כתוצאה ממיקומה הדרומי יותר של ישראל), שיעור התמותה בשנת 2020 היה 5.0 מקרי מוות לכל מאה אלף ושיעור אובדן שנות החיים הוא 78.0 לכל מאה אלף (טבלה 5 ו-7). ערכים אלו נמצאים במרכז טווח הערכים בהשוואה למדינות אירופה, בהן מדווחים 2-10 מקרי מוות מוקדם עבור מרבית המדינות ואבדן של 90-20 שנות חיים לכל מאה אלף.

הסבר אפשרי לשיעורים הנמוכים יחסית של מקרי המוות המוקדם ואובדן שנות החיים בישראל לעומת אירופה הוא השיעור הנמוך באופן יחסי של אוכלוסייה מבוגרת בישראל. על פי נתוני הבנק העולמי<sup>17</sup>, בשנת 2022 עמד שיעור האוכלוסייה מעל גיל 65 בישראל על 12.0% מכלל האוכלוסייה. שיעור זה הוא נמוך יותר בהשוואה לכל מדינות אירופה (איור 9), פרט לקוסובו (10.2%) ותורכיה (8.6%). עבור יתר המדינות נע שיעור זה בין 14.8% בקפריסין ל-23.7% באיטליה. מאחר ואין ברשותנו נתונים מפורטים לגבי שיעור התמותה המוקדמת מזהום אוויר בחלוקה לפי קבוצות גיל עבור מדינות אירופה, אלא רק את סך התמותה המוקדמת בכל מדינה, בחנו את מספר מקרי המוות המוקדם בכלל האוכלוסייה ביחס לגודל אוכלוסיית גילאי 65 ומעלה בישראל לעומת מדינות אירופה (איור 10). התוצאות המתקבלות מראות כי אכן מצטמצם הפער בישראל דומה יותר למדינות אירופה.

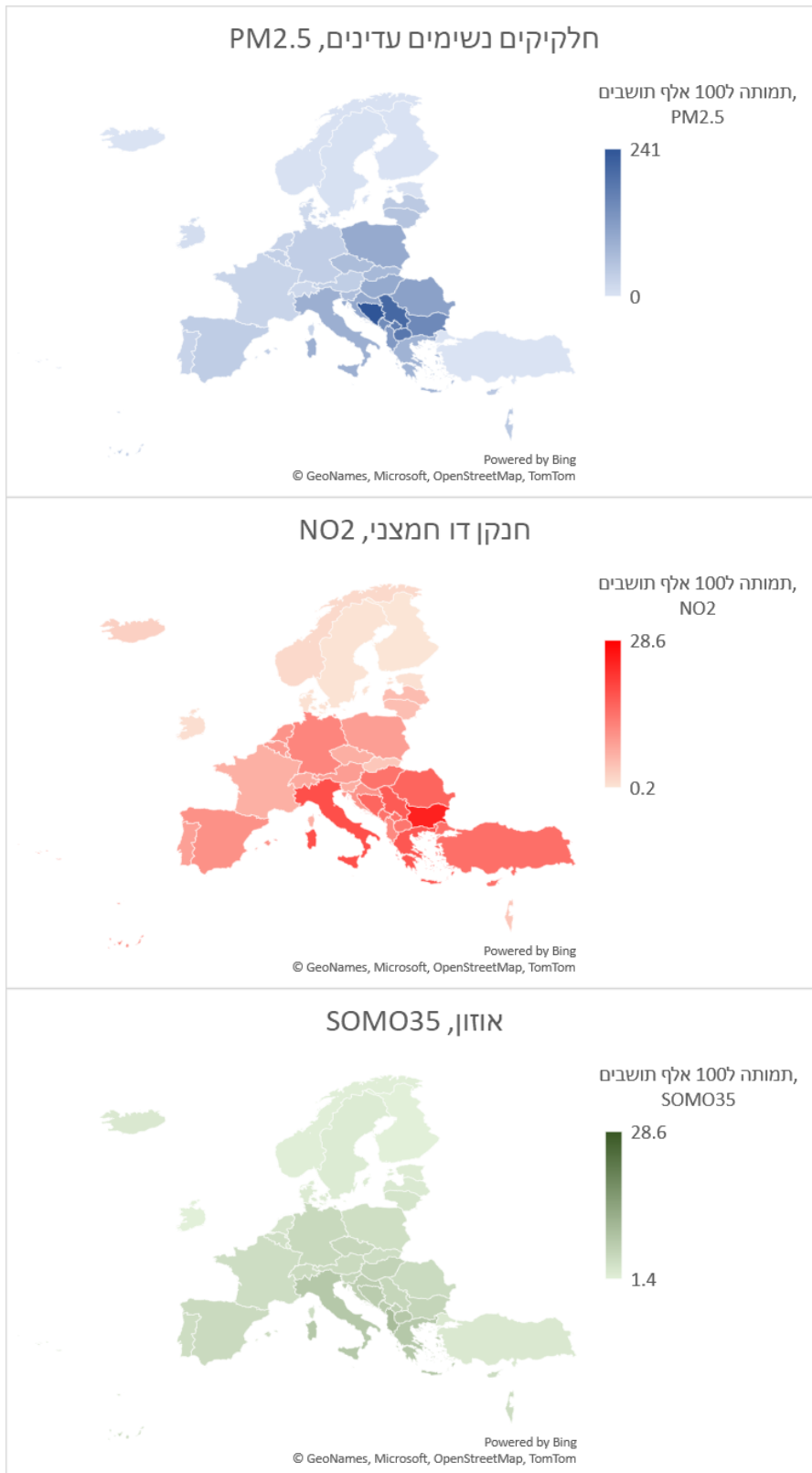
<sup>17</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.65UP.TO.ZS>

טבלה 5: מקרי מוות מוקדם עבור מדינות אירופה בשנת 2020 (מדינות נבחרות. רשימה מלאה מופיעה בנספח). ריכוזים שנתיים ממוצעים של מזהמי אוויר, מספר מקרי מוות מוקדם ושיעור מקרי מוות מוקדם לכל 100 אלף נפש, לחלקיקים נשימים עדינים, חנקן דו חמצני ואוזון (SOMO35).

אוזון SOMO35					חנקן דו חמצני ממוצע שנתי					חלקיקים נשימים עדינים ממוצע שנתי					מעל גיל 65 % אובלוסייה	אובלוסייה (אלפים)	מדינה
אובדן שנות חיים/100k תושבים	אובדן שנות חיים	תמותה/100k תושבים	תמותה מוקדמת	SOMO35	אובדן שנות חיים/100k תושבים	אובדן שנות חיים	תמותה/100k תושבים	תמותה מוקדמת	ריכוז ממוצע שנתי NO2	אובדן שנות חיים/100k תושבים	אובדן שנות חיים	תמותה/100k תושבים	תמותה מוקדמת	ריכוז ממוצע שנתי PM2.5			
52	4,600	5.3	470	4,584	88	7,800	9.1	810	14.3	344	30,600	36	3,200	9.9	19.8	8,901	אוסטריה
44	5,100	4.6	530	3,798	85	9,800	9.5	1,100	14.3	314	36,200	34	3,900	9.4	19.7	11,522	בלגיה
64	4,400	6.2	430	2,967	245	17,000	24.5	1,700	16.7	1,552	107,900	152	10,600	17	22.4	6,951	בולגריה
75	3,000	7.4	300	4,760	102	4,100	10.3	420	13.1	985	40,000	101	4,100	15.4	22.4	4,058	קרואטיה
57	700	4.9	60	6,295	160	2,000	14.6	180	20.8	490	6,000	46	560	14	14.8	1,230	קפריסין
59	6,300	5.8	620	4,252	68	7,300	6.9	740	12.5	643	68,700	65	6,900	12.5	20.6	10,694	צ'כיה
52	34,100	4.8	3,100	4,271	72	47,000	6.8	4,400	12.2	270	175,800	25	16,500	8.6	21.7	65,178	צרפת
59	49,100	5.5	4,600	4,195	123	102,700	12.0	10,000	15.2	356	296,300	35	28,900	9.1	22.4	83,166	גרמניה
85	9,200	8.6	920	6,167	171	18,300	17.7	1,900	16.9	804	86,200	82	8,800	14.5	22.8	10,718	יוון
18	880	1.4	70	1,908	12	580	1.0	50	7.4	120	5,900	10	490	7.1	15.1	4,964	אירלנד
77	45,900	8.6	5,100	6,067	165	98,700	18.8	11,200	17.7	775	462,300	88	52,300	15	24.1	59,641	איטליה
53	20,300	4.5	1,700	3,216	101	38,500	9.0	3,400	13.1	1,095	415,700	96	36,500	16	18.6	37,958	פולין
49	4,800	4.8	470	3,585	85	8,300	8.7	850	12.5	264	25,800	27	2,600	8.1	22.9	9,795	פורטוגל
53	24,100	5.3	2,400	4,522	103	46,600	10.6	4,800	14.6	365	164,700	38	17,000	10	20.3	45,166	ספרד
62	4,300	6.1	420	3,099	166	11,500	17.3	1,200	14.9	2,063	142,900	208	14,400	22.7	20.6	6,927	סרביה
44	36,600	2.8	2,300	4,561	195	161,900	14.8	12,300	24.9						8.6	83,155	טורקיה
78.0	7,188	5.0	458	8,390	45.5	4,193	4.0	372	12.1	527	48,546	44.4	4,088	15.7	12.0	9,217	ישראל**

\* נתוני הבנק העולמי לשנת 2022

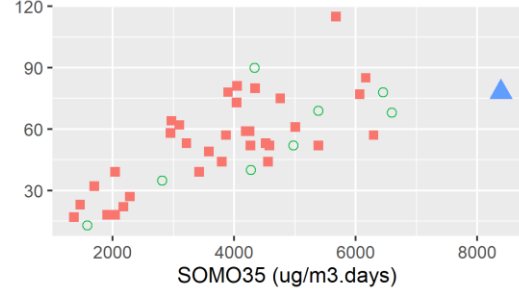
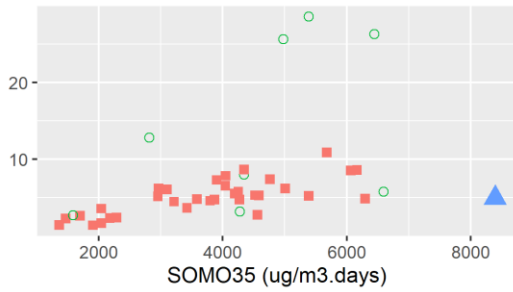
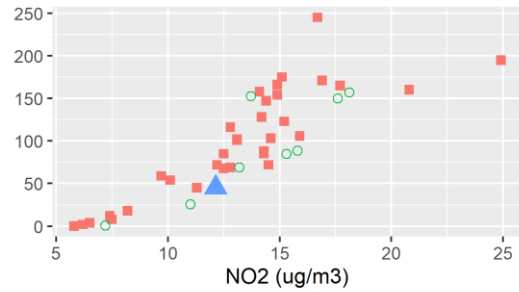
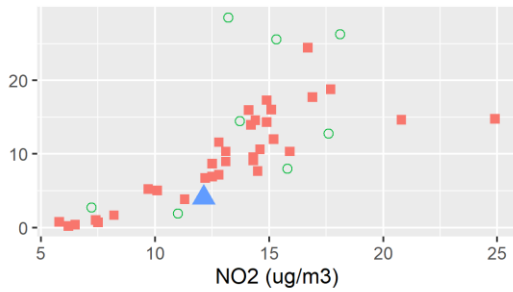
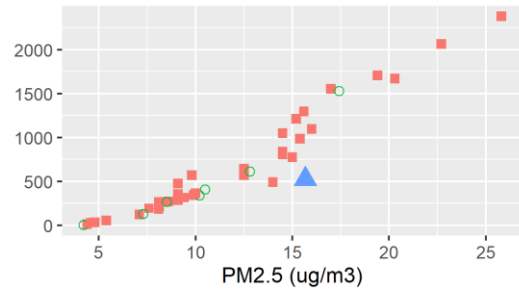
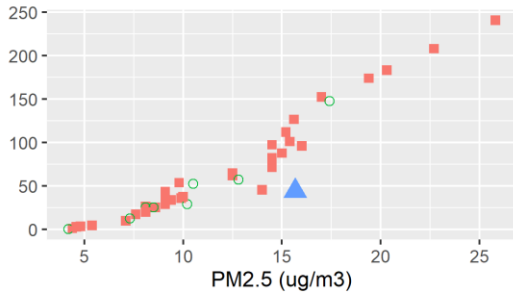
\*\* נתוני זיהום ותמותה עבור ישראל בטבלה זו מייצגים ערכים לשנת 2020, השנה עבורה חושבו הנתונים גם עבור מדינות אירופה.



איור 7: מפות שיעורי התמותה לכל 100 אלף תושבים במדינות אירופה וישראל בשנת 2020

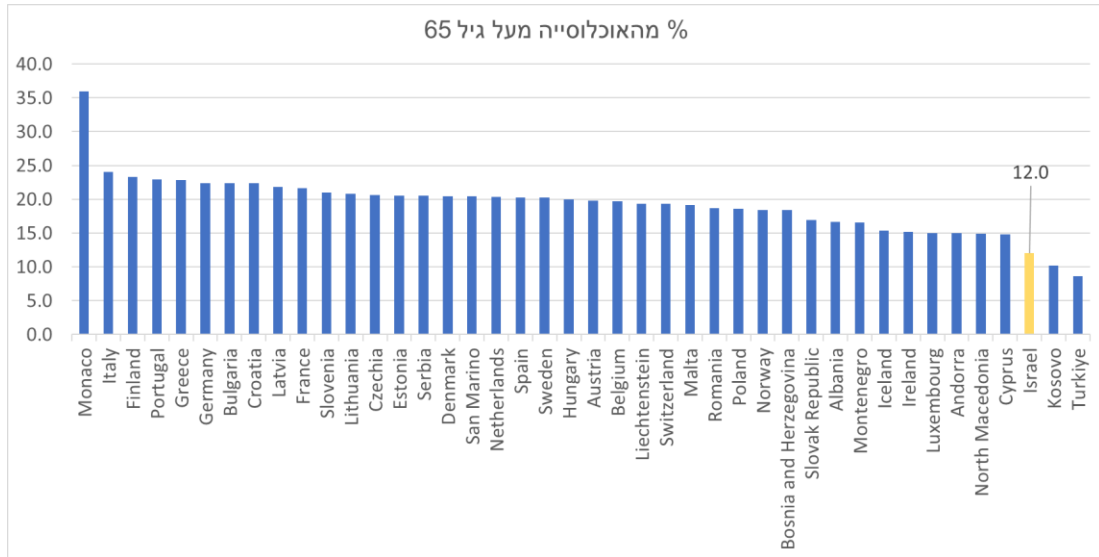
מקרי מוות מוקדם לכל מאה אלף תושבים

אובדן שנות חיים בשנה לכל 100 אלף תושבים

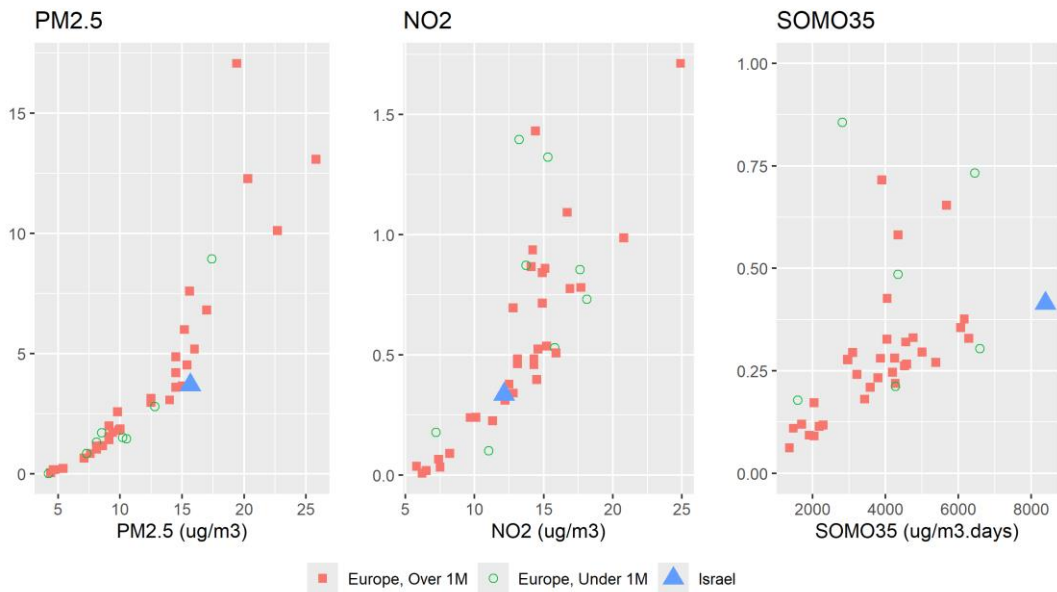


■ Europe, Over 1M    ● Europe, Under 1M    ▲ Israel

איור 8: שיעור מקרי המוות המוקדם (עמודה שמאלית) ואובדן שנות חיים (עמודה ימנית) לכל 100 אלף תושבים עבור כל שלושת המזהמים (חלקיקים נשימים עדינים- עליון, חנקן דו חמצני - אמצע, אוזון - תחתון) בשנת 2020 עבור מדינות אירופה השונות (ריבוע אדום) ועבור ישראל (משולש כחול). מדינות אירופה שאוכלוסייתן קטנה ממיליון תושבים מוצגות בעיגול ירוק על מנת להימנע מהטייה בשל מספרים נמוכים.



איור 9: אחוז מהאוכלוסייה בגילאים 65 ומעלה במדינות אירופה וישראל



איור 10: שיעור מקרי המוות באוכלוסייה לכל 100 אלף תושבים מעל גיל 65, עבור כל שלושת המזהמים (חלקיקים נשימים עדינים-שמאל, חנקן דו חמצני - אמצע, אוזון - ימין), עבור מדינות אירופה השונות (ריבוע אדום) ועבור ישראל (משולש כחול) בשנת 2020. מדינות אירופה שאוכלוסייתן קטנה ממיליון תושבים מוצגות בעיגול ירוק ריק.



## ה. מה השתנה?

### מדוע עלה מספר מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר, לעומת הערכות של שנים קודמות?

כאמור, הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי (OECD), פרסם את שיעור מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר סביבתי מידי שנה בישראל בין השנים 1990-2019.<sup>18</sup> הפרסום כולל את מספר מקרי מוות לכל 100,000 תושבים כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר חלקיקי בלבד. בשנת 2019, השנה האחרונה עבורה פרסם ה-OECD נתונים אלו, היה זיהום האוויר אחראי ל- 2,280 מקרי מוות מוקדם<sup>19</sup>. מספר זה הינו כמחצית ממספר מקרי המוות המוקדם המוערך עבור ישראל בשנת 2019 בדוח המוצג פה כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים (PM<sub>2.5</sub>)(4,832). לפער זה במקרי תמותה מוקדמת בין הערכת ה-OECD והערכה בדוח זה יש מספר סיבות המפורטות להלן.

**הערכת חשיפה שונה:** הערכת ה-OECD התבססה על הערכת חשיפה של האוכלוסייה לחלקיקים נשימים עדינים (PM<sub>2.5</sub>), אשר חושבה באמצעות שילוב של נתונים עולמיים של לוויינים, מודלים לפיזור מזהמי אוויר ומדידות קרקעיות, במסגרת פרויקט עומס התחלואה העולמי (Global Burden of Disease – GBD<sup>20</sup>) של ארגון IHME<sup>21</sup> (Institute for Health Metrics and Evaluation). הערכה זו של החשיפה חושבה כאמור עבור כל אוכלוסיית העולם ומשך היא גסה יותר במרחב (רזולוציה מרחבית של 11 ק"מ בקרוב) ואינה יכולה להתחשב בריכוזים הגבוהים הנמדדים במרכזי הערים בישראל.

**ערך סף לסיכון:** חישוב ה-OECD התבסס על ערך סף לסיכון בחשיפה לחלקיקי PM<sub>2.5</sub> של 10 מק"ג/מק"ת, על פי המלצת ארגון הבריאות העולמי משנת 2005. ערך זה של 10 מק"ג/מק"ת היה גם ערך היעד הקודם לחלקיקים נשימים עדינים בתקנות אוויר נקי בישראל. מאז, פרסם ארגון הבריאות העולמי עדכון לערכי הסף<sup>22</sup>, והפחית את ערך הסף לסיכון בריאותי מחשיפה ארוכת טווח לחלקיקים נשימים עדינים (PM<sub>2.5</sub>) מ-10 מק"ג/מק"ת ל-5 מק"ג/מק"ת בממוצע שנתי, עדכון אשר אומץ כערך היעד בישראל בשנת 2022. בדוח המוצג פה נעשה שימוש בערך היעד החדש כערך סף בריאותי לחלקיקים נשימים עדינים.

על מנת לבחון את ההשפעה של עדכון ערך הסף מ-10 מק"ג/מק"ת ל-5 מק"ג/מק"ת על הערכת התמותה המוקדמת מחלקיקים, בוצעה בחינת רגישות בה חושב מספר מקרי המוות בישראל תוך שימוש בערך סף לסיכון של 10 מק"ג/מק"ת. על פי התוצאות (איור 11 וטבלה 6),

<sup>18</sup> <https://www.oecd.org/israel/health-at-a-glance-Israel-EN.pdf>

<sup>19</sup> [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP\\_MORSC](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP_MORSC)

<sup>20</sup> <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>

<sup>21</sup> <https://www.healthdata.org/>

<sup>22</sup> <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>

מעבר מערך סף בריאותי של 10 מק"ג/מק"ת לערך של 5 מק"ג/מק"ת הביא לתוספת של בין 1966-1419 מקרי תמותה מוקדמת מידי שנה, המוסברת על ידי ההפרש של 5 מק"ג/מק"ת בחלקיקים נשימים עדינים. שינוי זה מוסבר על בסיס הנחה שקשר בין חשיפה להשפעות הבריאותיות הוא ליניארי והסיכון הבריאותי לא תלוי בערך שממנו נחשב סיכון יתר לחשיפת האוכלוסייה.

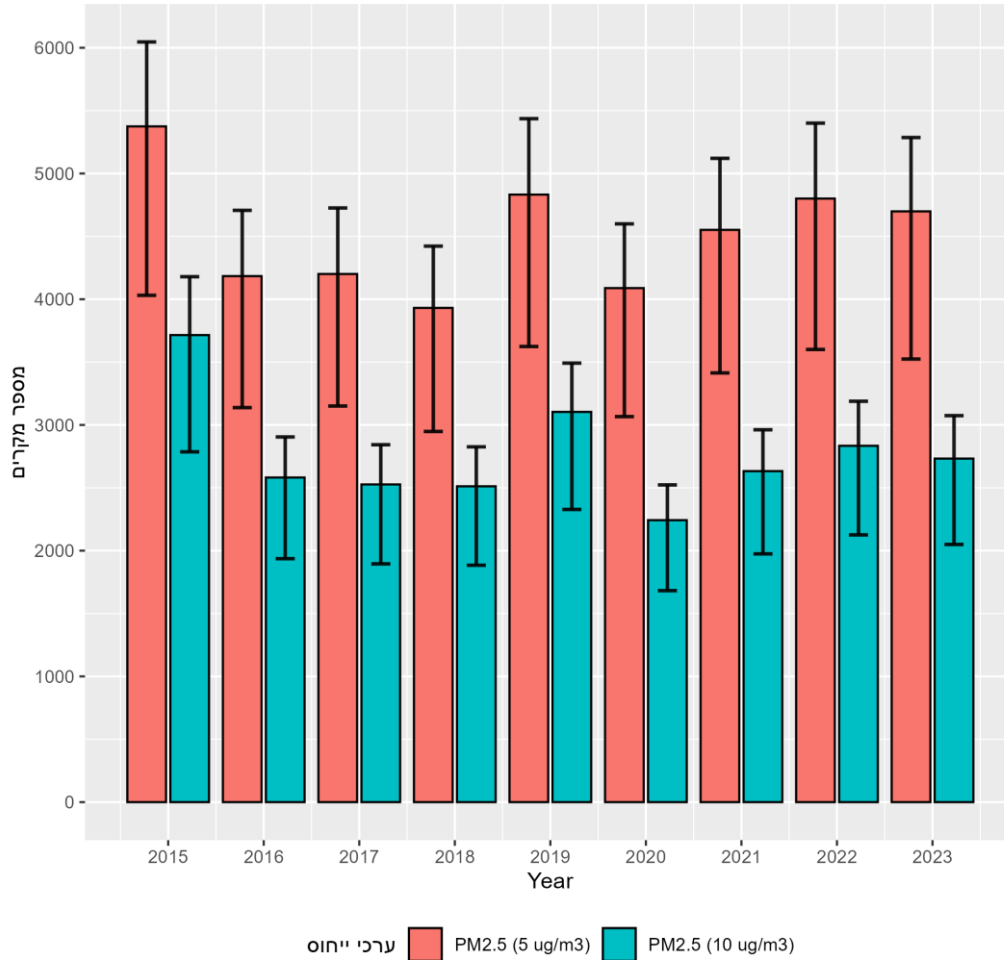
**עקומת מנה-תגובה:** עקומות המנה-תגובה עליהן מתבסס החישוב של ה-**OECD** הן עקומות אשר מתחשבות בגורם הסיכון לתמותה ובקבוצת הגיל הרלוונטית. בדוח זה, לעומת זאת, נעשה שימוש בפונקציה קבועה של מנה-תגובה של 8% תוספת סיכון לכל תוספת של 10 מק"ג/מק"ת מעל ערך הסף לסיכון (טבלה 1) מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים (**PM<sub>2.5</sub>**), לכל קבוצות הגיל ולכל גורמי הסיכון. בשל הבדל מתודולוגי זה, לא ניתן להשוות באופן ישיר בין שתי השיטות.

**נתוני אוכלוסייה:** בעוד שהערכת התמותה של ה-**OECD** ניתנת כמספר קבוע של 26.8 מקרי מוות לכל 100,000 תושבים, ללא התחשבות בהתפלגות הגילים באוכלוסייה, ההערכה המוצגת בדוח זה מתבססת על נתונים מפורטים של הלמ"ס לגבי התפלגות אוכלוסיית ישראל לפי קבוצות גיל ומין בכל אזור סטטיסטי, אשר מוצלב מרחבית עם ריכוזי המזהמים באותו אזור סטטיסטי. פילוח זה של האוכלוסייה, יחד עם מידע של הלמ"ס על שיעורי התמותה מסיבות טבעיות עבור כל קבוצת גיל ומין, מאפשר הערכה מדויקת יותר של תוספת הסיכון לתמותה מוקדמת מזיהום אוויר.

טבלה 6 : השוואה בין מספר מקרי תמותה מוקדמת מחלקיקים נשימים עדינים בכל שנה תוך שימוש בערך ייחוס של 10 מק"ג/מק"ת לעומת 5 מק"ג/מק"ת

שנה	ערך ייחוס 10 מק"ג/מק"ת	ערך ייחוס 5 מק"ג/מק"ת	הפרש
2015	3,715	5,375	1,660
2016	2,582	4,184	1,602
2017	2,527	4,201	1,674
2018	2,512	3,931	1,419
2019	3,104	4,832	1,728
2020	2,243	4,088	1,846
2021	2,633	4,552	1,919
2022	2,834	4,800	1,966
2023	2,732	4,699	1,966

מקרי מוות מוקדם בשנה כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר



איור 11: השוואה בין מספר מקרי תמותה מוקדמת מחלקיקים נשימים עדינים תוך שימוש בערך ייחוס של 10 מק"ג/מק"ת (כחול) לעומת 5 מק"ג/מק"ת (אדום)

## 1. סיכום:

זיהום אוויר מוכר כגורם סיכון משמעותי לתמותה מוקדמת ולתחלואה, והינו גורם הסיכון הסביבתי המשמעותי ביותר לבריאות האדם. בשנים האחרונות פורסמו מספר עדכונים למתודולוגיה להערכת ההשפעות הבריאותיות של זיהום אוויר, ובפרט עדכון אשר פרסם ארגון הבריאות העולמי (WHO) לערכי איכות האוויר בשנת 2021.

דוח זה מציג הערכות של ההשפעות הבריאותיות של זיהום אוויר על האוכלוסייה בישראל, עבור כל שנה בין השנים 2015-2023, בהתבסס על המתודולוגיה העדכנית ביותר ועדכון ערכי היעד (הערכים הבריאותיים) בישראל (2022). הדוח מתמקד בהערכת התמותה המוקדמת ואובדן שנות חיים כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר בריכוזים העולים על הערכים

הבריאותיים. הדוח מתמקד בשלושה מזהמי אוויר שכיחים: חלקיקים נשימים עדינים ( $PM_{2.5}$ ), חנקן דו חמצני ( $NO_2$ ) ואוזון ( $O_3$ ).

על פי התוצאות, מספר מקרי המוות המוקדם בשנה בישראל כתוצאה מחשיפה לשלושת המזהמים יחדיו נע בין 4,641 לבין 6,166 מקרי מוות מוקדם בשנה. המזהם אשר אחראי על המספר הרב ביותר של מקרי מוות מוקדם הוא חלקיקים נשימים עדינים אשר אחראים לבדם על 3,931-5,375 מקרים. חנקן דו חמצני ואוזון היו אחראים למספר נמוך יותר של מקרי מוות, 346-628 מקרים כתוצאה מחשיפה לחנקן דו חמצני ו-348-575 מקרים כתוצאה מחשיפה לאוזון.

חישוב של אובדן שנות חיים כתוצאה מהתמותה המוקדמת מראה שהחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים הייתה אחראית לאובדן של 46,216-65,289 שנות חיים. חנקן דו חמצני היה אחראי לאובדן של 3,802-7,218 שנות חיים ואוזון לאובדן של 5,547-8,896 שנות חיים.

הסיבה להשפעה הרבה יותר של אוזון על אובדן שנות חיים בהשוואה לחנקן דו חמצני, היא שהערכת התמותה מאוזן חושבה עבור כל הגילים, החל מלידה, לעומת חלקיקים וחנקן דו חמצני, עבורם מחושבת התמותה רק מגיל 30. במצב זה, גם מספר מועט יחסית של מקרי תמותה מוקדמת בגיל צעיר בא לידי ביטוי באובדן של שנות חיים רבות.

בין השנים 2015-2023 לא ניתן להצביע על מגמה ברורה של עליה או ירידה בריכוזים ובהשפעות הבריאותיות של חלקיקים נשימים עדינים. לעומת זאת, עבור חנקן דו חמצני ניתן לראות מגמה ברורה של ירידה בריכוזים, בעוד שעבור אוזון יש מגמת ברורה של עלייה בריכוזים.

מגפת הקורונה מהווה דוגמה חשובה לאינטראקציה בין שני גורמי סיכון. למרות שבשנות המגפה הייתה ירידה בזיהום האוויר (עקב ירידה בפעילות המשק ובנסועת כלי הרכב), הרי שמספר מקרי המוות מזיהום אוויר עלה, שכן מחלת הקורונה העמידה בסיכון אוכלוסייה שרגישה גם לזיהום אוויר.

בחינה של שיעורי התמותה המוקדמת בחלוקה לפי קבוצות גיל ומין מעלה שעבור שלושת המזהמים, חלק הארי של מקרי המוות המוקדם הוא בקבוצות הגיל המבוגרות, וכי כמעט בכל קבוצות הגיל התמותה גבוהה יותר בקרב גברים. בחישוב אובדן שנות חיים, קבוצת הגיל עבורה יש את האובדן הרב ביותר היא תינוקות (עד גיל שנה) כתוצאה מחשיפה לאוזון, בשל תוחלת החיים הרבה של קבוצת גיל זו.

פרט לניתוח של מקרי המוות המוקדם ואובדן שנות החיים בישראל בשנים שהוזכרו, מוצגת בדוח גם השוואה לתוצאות ניתוח דומה אשר נעשה עבור 41 מדינות באירופה לשנת 2020. מאחר וגודל האוכלוסייה שונה מאוד בין המדינות, בוצעה ההשוואה על פי מספר מקרי מוות מוקדם ואובדן שנות חיים לכל מאה אלף תושבים. מתוצאות ההשוואה עולה ששיעורי התמותה המוקדמת ואובדן שנות החיים בישראל בשנת 2020 היו נמוכים יותר בהשוואה למדינות בהן ריכוזי המזהמים היו דומים. למשל, עבור חלקיקים נשימים עדינים, מספר מקרי המוות המוקדם למאה אלף תושבים בישראל היה 44.4, לעומת 71, 82 ו-88 בסלובקיה, יוון ואיטליה, בהתאמה. גם עבור חנקן דו חמצני ואוזון התקבלו שיעורים נמוכים יותר של מקרי



מדינת ישראל  
STATE OF ISRAEL



מוות מוקדם ואובדן שנות חיים בהשוואה למדינות באירופה עם ריכוזים דומים לישראל. הסבר אפשרי לשיעורים הנמוכים יותר בישראל הוא האחוז הנמוך של האוכלוסייה המבוגרת מכלל האוכלוסייה בישראל. על פי נתוני הבנק העולמי, שיעור האוכלוסייה בגילים שמעל 65 שנים בישראל הוא 12.0%, מהנמוכים בהשוואה למדינות אירופה.

בהשוואה להערכות קודמות של מקרי המוות המוקדם כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים עדינים אשר פורסמו בעבר עבור ישראל על ידי ארגון ה-OECD, ההערכות המוצגות בדוח זה הן גבוהות יותר בשיעור ניכר. הסיבה העיקרית לפער הזה היא העדכון של הערכים הבריאותיים לחשיפה אשר פורסמו על ידי ארגון הבריאות העולמי בשנת 2021. ערכים חדשים אלו מבטאים את המידע האפידמיולוגי העדכני ביותר לגבי ההשפעות הבריאותיות של מזהמי אוויר.

## תודות:

תודה לנעמה רותם, יאיר יום טוב וד"ר משה ינאי מהלשכה המרכזית לסטטיסטיקה על הכנת נתוני האוכלוסייה, תוחלת החיים ושיעור התמותה וכן על ההערות הבונות.

תודה לפרופ' חגי לזין על עזרתו בגרסאות הראשונות של חישובי התמותה והתחלואה בישראל.

תודה לפרופ' איתמר גרוטו, פרופ' רענן רז, פרופ' דוד ברודאי, ד"ר יובל על הערותיהם הבונות.

## נספחים

נספח: טבלה 7: טבלת שיעורי תמותה מוקדמת ואבדן שנות חיים בכל מדינות אירופה.

טבלה 7: טבלת שיעורי תמותה מוקדמת ואבדן שנות חיים בכל מדינות אירופה

אוזון SOM035					חנקן דו חמצני ממוצע שנתי					חלקיקים נשימים עדינים ממוצע שנתי					מעל גיל 65 % אוכלוסייה	אוכלוסייה (אלפים)	מדינה
אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/ 100k	מוקדמת תמותה	SOM035	אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/ 100k	מוקדמת תמותה	ריכוז ממוצע שנתי NO2	אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/ 100k	מוקדמת תמותה	ריכוז ממוצע שנתי PM2.5			
52	4,600	5.3	470	4,584	88	7,800	9.1	810	14.3	344	30,600	36	3,200	9.9	19.8	8,901	אוסטריה
44	5,100	4.6	530	3,798	85	9,800	9.5	1,100	14.3	314	36,200	34	3,900	9.4	19.7	11,522	בלגיה
64	4,400	6.2	430	2,967	245	17,000	24.5	1,700	16.7	1,552	107,900	152	10,600	17	22.4	6,951	בולגריה
75	3,000	7.4	300	4,760	102	4,100	10.3	420	13.1	985	40,000	101	4,100	15.4	22.4	4,058	קרוואטיה
57	700	4.9	60	6,295	160	2,000	14.6	180	20.8	490	6,000	46	560	14	14.8	1,230	קפריסין
59	6,300	5.8	620	4,252	68	7,300	6.9	740	12.5	643	68,700	65	6,900	12.5	20.6	10,694	צ'כיה
27	1,600	2.4	140	2,287	8	440	0.7	40	7.5	193	11,200	17	1,000	7.6	20.5	5,823	דנמרק
23	300	2.3	30	1,468	-	10	0.8	10	5.8	52	690	5	60	5.4	20.6	1,329	אסטוניה
17	930	1.4	80	1,365	2	80	0.2	10	6.2	12	680	1	60	4.4	23.3	5,525	פינלנד
52	34,100	4.8	3,100	4,271	72	47,000	6.8	4,400	12.2	270	175,800	25	16,500	8.6	21.7	65,178	צרפת
59	49,100	5.5	4,600	4,195	123	102,700	12.0	10,000	15.2	356	296,300	35	28,900	9.1	22.4	83,166	גרמניה
85	9,200	8.6	920	6,167	171	18,300	17.7	1,900	16.9	804	86,200	82	8,800	14.5	22.8	10,718	יוון
73	7,200	6.6	640	4,044	154	15,000	14.3	1,400	14.9	1,049	102,500	97	9,500	14.5	20.0	9,770	הונגריה
18	880	1.4	70	1,908	12	580	1.0	50	7.4	120	5,900	10	490	7.1	15.1	4,964	אירלנד
77	45,900	8.6	5,100	6,067	165	98,700	18.8	11,200	17.7	775	462,300	88	52,300	15	24.1	59,641	איטליה
32	610	2.6	50	1,699	59	1,100	5.2	100	9.7	474	9,000	44	830	9.1	21.9	1,908	לטביה
39	1,100	3.6	100	2,044	54	1,500	5.0	140	10.1	571	15,900	54	1,500	9.8	20.8	2,794	ליטא

אוזון SOMO35					חנקן דו חמצני ממוצע שנתי					חלקיקים נשימים עדינים ממוצע שנתי					מעל גיל 65* % אוכלוסייה	אוכלוסייה (אלפים)	מדינה
אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/ 100k	מוקדמת תמותה	SOMO35	אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/ 100k	מוקדמת תמותה	ריכוז ממוצע שנתי NO2	אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/ 100k	מוקדמת תמותה	ריכוז ממוצע שנתי PM2.5			
40	250	3.2	20	4,272	89	560	8.0	50	15.8	129	810	13	80	7.3	15.0	626	לוקסמבורג
68	350	5.8	30	6,592	26	140	1.9	10	11	338	1,700	29	150	10.2	19.1	515	מלטה
39	6,700	3.7	640	3,426	106	18,500	10.3	1,800	15.9	286	49,800	29	5,000	9.1	20.3	17,408	הולנד
53	20,300	4.5	1,700	3,216	101	38,500	9.0	3,400	13.1	1,095	415,700	96	36,500	16	18.6	37,958	פולין
49	4,800	4.8	470	3,585	85	8,300	8.7	850	12.5	264	25,800	27	2,600	8.1	22.9	9,795	פורטוגל
58	11,300	5.2	1,000	2,955	175	33,800	16.0	3,100	15.1	1,211	234,100	112	21,600	15.2	18.6	19,329	רומניה
57	3,100	4.8	260	3,867	45	2,400	3.8	210	11.3	838	45,700	71	3,900	14.5	17.0	5,458	סלובקיה
61	1,300	6.2	130	5,008	69	1,500	7.2	150	12.8	569	11,900	62	1,300	12.5	21.0	2,096	סלובניה
53	24,100	5.3	2,400	4,522	103	46,600	10.6	4,800	14.6	365	164,700	38	17,000	10	20.3	45,166	ספרד
22	2,200	2.3	240	2,181	4	380	0.4	40	6.5	32	3,300	4	370	4.8	20.2	10,328	שבדיה
115	3,300	10.9	310	5,678	116	3,300	11.6	330	12.8	1,296	36,900	126	3,600	15.6	16.7	2,846	אלבניה
35	30	12.8	10	2,812	150	120	12.8	10	17.6	267	210	26	20	8.5	15.0	78	אנדורה
81	3,100	7.8	300	4,047	158	6,100	15.9	610	14.1	2,379	91,000	241	9,200	25.8	18.4	3,825	בוסניה הרצגובינה
13	50	2.7	10	1,582	1	10	2.7	10	7.2	1	<5	0	1	4.2	15.3	364	איסלנד
78	1,400	7.3	130	3,901	147	2,600	14.6	260	14.4	1,706	30,400	174	3,100	19.4	10.2	1,782	קוסובו
52	20	25.6	10	4,976	85	30	25.6	10	15.3	186	70	26	10	8.1	19.4	39	ליכטנשטיין
78	30	26.3	10	6,445	157	60	26.3	10	18.1	407	160	53	20	10.5	35.9	38	מונקו
90	560	8.0	50	4,338	153	950	14.5	90	13.7	1,531	9,500	148	920	17.4	16.6	622	מונטנגרו

אזון SOMO35					חנקן דו חמצני ממוצע שנתי					חלקיקים נשימים עדינים ממוצע שנתי					מעל גיל 65 % אוכלוסייה	אוכלוסייה (אלפים)	מדינה
אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/100k	מוקדמת תמותה	SOMO35	אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/100k	מוקדמת תמותה	ריכוז ממוצע שנתי NO2	אובדן שנות חיים/100k	אובדן שנות חיים	תמותה/100k	מוקדמת תמותה	ריכוז ממוצע שנתי PM2.5			
80	1,700	8.7	180	4,345	128	2,700	14.0	290	14.2	1,668	34,600	183	3,800	20.3	14.9	2,076	צפון מקדוניה
18	990	1.7	90	2,042	18	970	1.7	90	8.2	30	1,600	3	160	4.6	18.4	5,368	נורבגיה
69	20	28.6	10	5,387	69	20	28.6	10	13.2	613	210	57	20	12.8	20.5	35	סן מרינו
62	4,300	6.1	420	3,099	166	11,500	17.3	1,200	14.9	2,063	142,900	208	14,400	22.7	20.6	6,927	סרביה
52	4,500	5.2	450	5,387	72	6,200	7.7	660	14.5	186	16,000	20	1,700	8.1	19.3	8,606	שוויץ
44	36600	2.8	2,300	4,561	195.00	161900	14.8	12,300	24.9						8.6	83,155	טורקיה
74.7	6,879	4.9	448	8,013	38.8	3,572	3.8	349	11.3	456	42,010	43	3,919	15.5	12.0	9,214	ישראל**

\* נתוני הבנק העולמי לשנת 2022

\*\* נתוני זיהום ותמותה עבור ישראל בטבלה זו מייצגים ערכים לשנת 2020, השנה עבורה חושבו הנתונים גם עבור מדינות אירופה.