

איכות האוויר

זיהום אוויר הוא גורם הסיכון העיקרי בתחום בריאות וסביבה בישראל.¹ איכות האוויר בישראל מושפעת ממקורות זיהום שונים, מהם טבעיים (כגון אבק מדברי) ומהם מעשה ידי אדם (אנתרופוגנים, כגון פליטות מזהמים מתעשייה, מתחבורה ומשרפת ביומסה). חשיפה למזהמי אוויר שונים נקשרת לתוצאי בריאות שליליים, כגון מחלות נשימתיות, מחלות לב, סוכרת מסוג 2 וסרטן, ולהשפעות התפתחותיות כגון משקל לידה נמוך ויילודים קטנים לגיל ההיריון (small for gestational age – SGA). מזהמי אוויר כוללים חומר חלקיקי (particulate matter – PM) בקטרים שונים, למשל אוזון (O₃), תחמוצות חנקן (nitrogen oxides – NO_x), תרכובות גופרית, עופרת, פחמן חד-חמצני ותרכובות אורגניות נדיפות (volatile organic compounds – VOCs).

המעקב אחר איכות האוויר בישראל מבוצע על ידי מערך ניטור איכות האוויר במשרד להגנת הסביבה. במערך יותר מ-150 תחנות ניטור נייחות וניידות בתפרוסת גאוגרפית רחבה, ונעשה בהן ניטור רציף של מזהמים קריטריוניים, כגון חלקיקים ואוזון. המשרד להגנת הסביבה מפעיל גם דיגום דו-שבועי ב-19 נקודות דיגום קבועות עבור מזהמים שאינם קריטריוניים, בהם תרכובות אורגניות נדיפות, מתכות ודיוקסינים.

חוק אוויר נקי התשס"ח-2008, אשר נכנס לתוקף בינואר 2011, התווה את הרגולציה של איכות האוויר בישראל. בעקבותיו נקבעו ערכי איכות האוויר של מזהמים שונים, והם מתעדכנים מעת לעת על ידי המשרד להגנת הסביבה בשיתוף משרד הבריאות ובעלי עניין אחרים. העדכון האחרון נעשה בשנת 2016. שני הערכים המרכזיים הם: (א) **ערכי יעד** – ערכים שחריגה מהם מהווה חשש לפגיעה בבריאות האדם או באיכות חייהם של בני אדם, בנכסים או בסביבה, לרבות בקרקע, במים, בחי ובצומח. אלה ערכים שיש לשאוף להשיגם כיעד, אף כי הם אינם מחייבים על פי החוק; (ב) **ערכי סביבה** – ערכים שחריגה מהם מהווה זיהום אוויר חזק או בלתי סביר. ערכי הסביבה נקבעים על בסיס ערכי היעד והידע הטכנולוגי העדכני ובהתחשב באפשרות המעשית למנוע חריגה מערכי היעד. יש לציין כי עבור מזהמי אוויר רבים יש עדויות להשפעות בריאותיות שליליות גם ברמות נמוכות מערכי היעד. לוח 1 מציג את ערכי הסביבה בעבור כמה מזהמים הנכללים בחוק אוויר נקי בהשוואה לערכי הסביבה באירופה ובארצות הברית ולערכים שארגון הבריאות העולמי (World Health Organization – WHO) קבע כערכים מומלצים.²

ערכי סביבה למזהמים קריטריוניים נבחרים בישראל בהשוואה לערכי סביבה באירופה וארצות הברית ולערכים שארגון הבריאות העולמי קבע כערכים מומלצים

הערכים המומלצים לפי ארגון הבריאות העולמי (מק"ג/מ"ק)	ארצות הברית (מק"ג/מ"ק)	אירופה (מק"ג/מ"ק)	ישראל (מק"ג/מ"ק)	פרק זמן נתון	
50	150	50	130	24 שעות	PM10
20	-	40	50	שנה	
25	35	-	37.5	24 שעות	PM2.5
10	12	25	25	שנה	
-	-	-	-	30 דקות	אוזון
100	138	120	140	8 שעות	
200	188	200	200	שעה	חנקן דו-חמצני (NO2)
40	98	40	40	שנה	
500	-	-	-	10 דקות	גופרית דו-חמצנית (SO2)
-	197	350	350	שעה	
20	-	125	50	24 שעות	
-	-	-	20	שנה	

←
לוח 1
Negev, 2020²

בחינת ההתקדמות שהושגה משנת 2017

בדוח בריאות וסביבה בישראל 2017 הוגדרו אתגרים לקידום תחום איכות האוויר. להלן סקירת ההתקדמות בשלוש השנים האחרונות.

האתגר: פיתוח אסטרטגיה לדגימה קבועה של מזהמי אוויר שלא ניתן לנטרם כיום באופן רציף

אתגר לשנים הבאות:
המשך הניטור והרחבתו לאתרים נוספים.

בקצרה: החל משנת 2015 מתבצעים ניטור ודיגום דו-שבועיים של עשרות מזהמי אוויר. בשנת 2018 התווספה נקודת הדיגום ה-19.

במסגרת חוק אוויר נקי מנוטרים 28 מזהמי אוויר קריטריוניים, בהם PM₁₀, PM_{2.5}, גופרית דו-חמצנית, אוזון, חנקן דו-חמצני, תחמוצות חנקן, פחמן חד-חמצני ובנזן, וכן מזהמים שאינם קריטריוניים, בהם תרכובות אורגניות נדיפות, פחמימנים ארומטיים רב-טבעתיים (polycyclic aromatic hydrocarbons – PAHs), אלדהידים, מתכות, אמוניה ומימן גופרתי. מזהמים אשר ריכוזיהם מגיעים לכעשירית מערכי היעד או ערכי הסביבה נדגמים לאורך השנה על בסיס דו-שבועי. בשנת 2015 החל הניטור ב-14 אתרים, בשנת 2016 התווספו עוד ארבע נקודות דיגום, ובשנת 2018 התווספה נקודת הדיגום ה-19. בסך הכול נדגמים בישראל מאז שנת 2015 על בסיס דו-שבועי כ-20 מזהמי אוויר, בהם פורמלדהיד, פחמימנים ארומטיים רב-טבעתיים, מתכות כבדות ואמוניה.

מקרא: התקדמות משמעותית ■ התקדמות מסוימת ■ התקדמות מעטה או ללא התקדמות ■

האתגר: יישום מלא של התוכנית הלאומית למניעה ולצמצום של זיהום האוויר בישראל

אתגר לשנים הבאות: השלמת יישום התוכנית הלאומית למניעה ולצמצום של זיהום האוויר בישראל ופיתוח תוכנית המשך.	בקצה: התוכנית הלאומית יושמה כמעט במלואה.
--	---

- בשנת 2013 אושרה התוכנית הלאומית למניעה ולצמצום של זיהום האוויר בישראל (החלטת ממשלה 707), והוצבו יעדים לשנת 2015 ולשנת 2020.³ התוכנית יושמה כמעט במלואה, ודוח על יישומה הועבר לממשלה. החלקים שהיו באחריות המשרד להגנת הסביבה יושמו, ואילו חלקים אחרים טרם יושמו:
- התוכנית לגריטת כלי רכב ישנים משנת 2008 חודשה בשנת 2018 רק עבור רכבי דיזל ישנים. על פי המשרד להגנת הסביבה רכבי דיזל הם האחראים לכ-80% מזיהום האוויר שמקורו בכלי רכב.
 - משרד האוצר, בהתייעצות עם השר להגנת הסביבה ועם שר התחבורה, לא הציע לממשלה כלים וצעדים לצמצום הנסיעה ברכבי ליסינג.
 - שר האוצר, בהתייעצות עם השר להגנת הסביבה, לא קבע שיעור מס דיפרנציאלי על סוגי דלקים שונים.

בימים אלה מפתח המשרד להגנת הסביבה תוכנית המשך להפחתת זיהום האוויר בישראל.

האתגר: צמצום ריכוזי PM₁₀ ואוזון בערים שבהן הריכוזים חורגים מערכי הסביבה

אתגר לשנים הבאות: המשך הפחתת פליטות של PM ₁₀ (הן PM _{2.5} הן PM ₁₀) ושל מבשרי אוזון.	בקצה: ניכרת ירידה מסוימת בריכוזים של חומר חלקיקי ושל מבשרי אוזון אך לא בריכוזי אוזון.
---	--

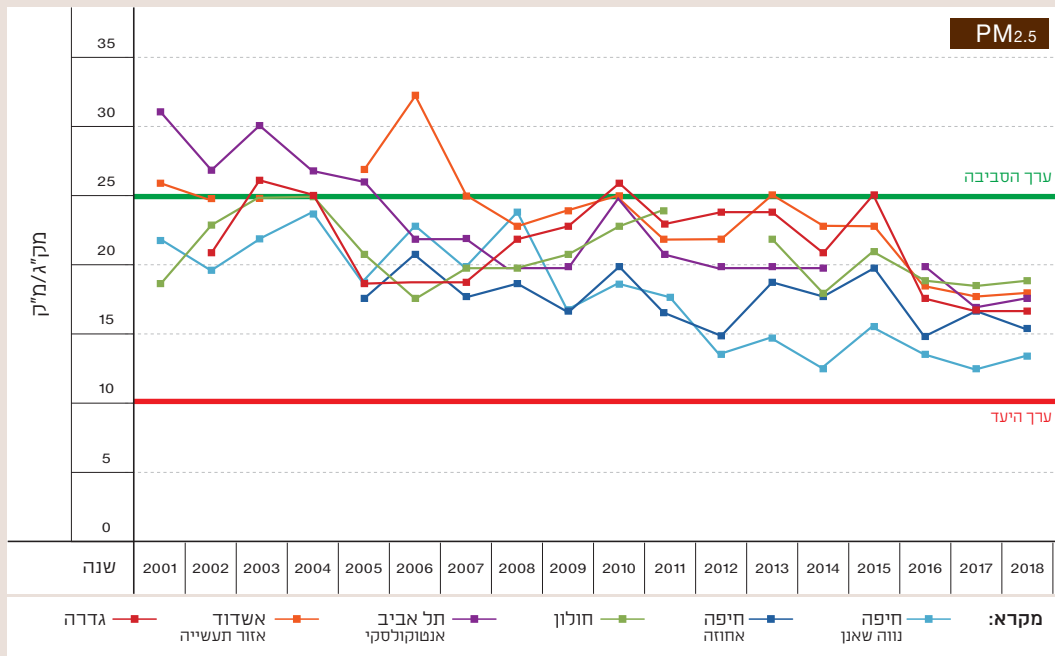
על פי נתונים המדווחים למרשם פליטות לסביבה של המשרד להגנת הסביבה, בשנים 2012–2018 הייתה ירידה של 57% בפליטות PM₁₀ בעקבות הפחתת השימוש בפחם לייצור חשמל ובעקבות דרישות רגולטוריות. המקורות העיקריים של פליטות PM₁₀ בישראל הם מפעלי תעשייה (20%), תחבורה (33%) ושרפת פסולת (20%).⁴

על פי נתונים שנמדדו בתחנות ניטור האוויר בישראל, ניכרת ירידה במבשרי האוזון, בהם תחמוצות חנקן. הממוצעים השנתיים של ריכוזי PM₁₀ ו-PM_{2.5} באזורים שונים חורגים מערכי היעד (20 ו-10 מק"ג/מ"ק בהתאמה), אך הם נמוכים מערכי הסביבה (50 ו-25 מק"ג/מ"ק בהתאמה). שלא כמזהמי אוויר אחרים, שבהם נרשמה מגמת ירידה עם השנים, למשל חנקן דו-חמצני וגופרית דו-חמצנית, אין מגמת ירידה בריכוזי PM₁₀ ואוזון (תרשים 1).⁵ ניכרת גם ירידה במספר החריות בריכוזי PM_{2.5} בתחנות שונות, ובכלל זה בקרבת כבישים. עם זאת, ריכוזי PM_{2.5} בישראל עדיין גבוהים יחסית לריכוזים שנמדדו במדינות החברות בארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD), וישראל מדורגת במקום ה-37 מתוך 40 בדרגת הזיהום.⁶ יתר על כן, הערכה שפורסמה בשנת 2020 על פי נתוני רמות חשיפה משנת 2016 קובעת שהאוכלוסייה בישראל חשופה כולה לריכוזי PM₁₀ גבוהים מערך היעד אך נמוכים מערך הסביבה.⁷

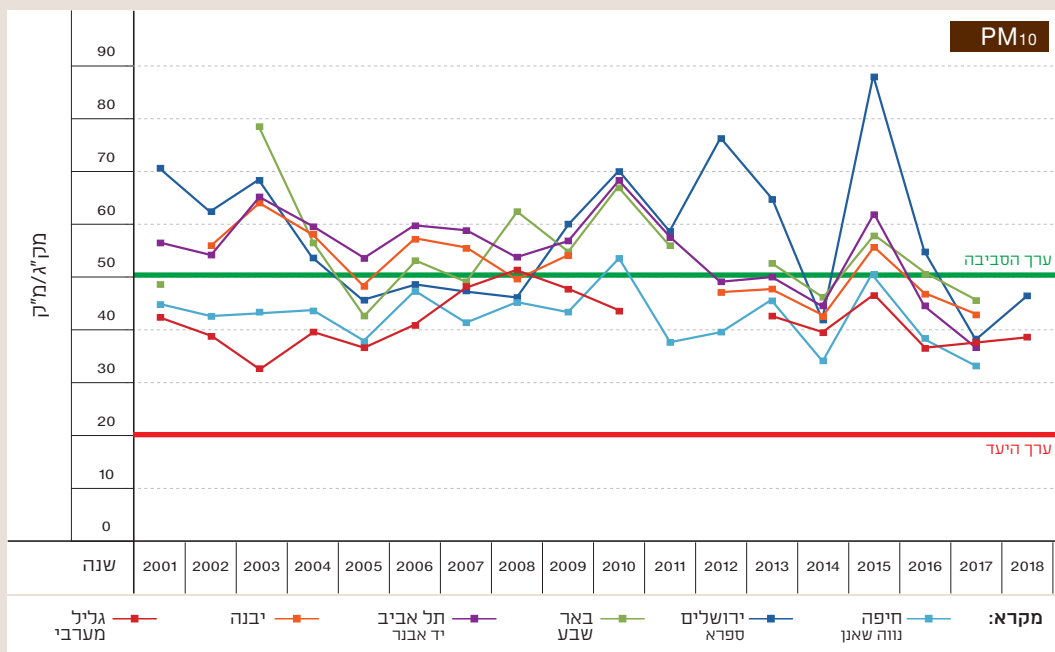
על פי מחקר "נטל התחלואה העולמי" (Global Burden of Disease – GBD), שיעור מקרי המוות המיוחסים לחשיפה לחומר חלקיקי בישראל נותר קבוע בשנים האחרונות (בשנת 2017 השיעור היה 26.4 ל-100,000 נפש).¹ יצוין כי על פי נתוני הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי, שיעור זה עמד בשנת 2017 על 28.41.⁸ מקרי המוות בשנת 2017 אשר יוחסו לחשיפה לחומר חלקיקי התפלגו כך: 35% תמותה ממחלות לב,

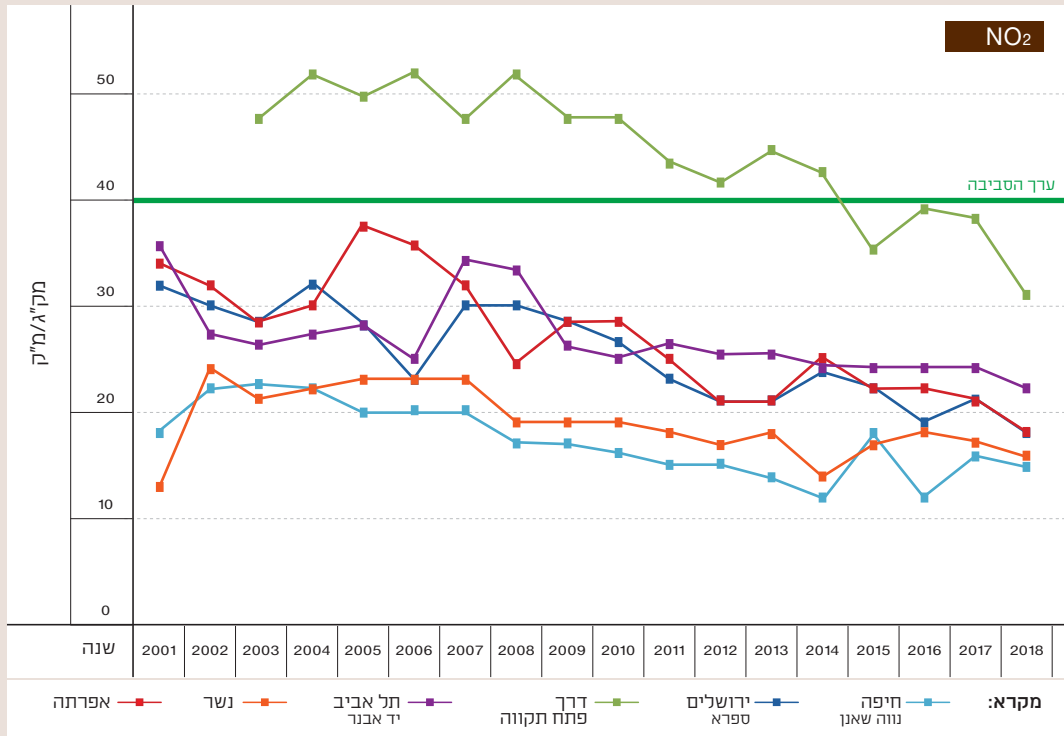
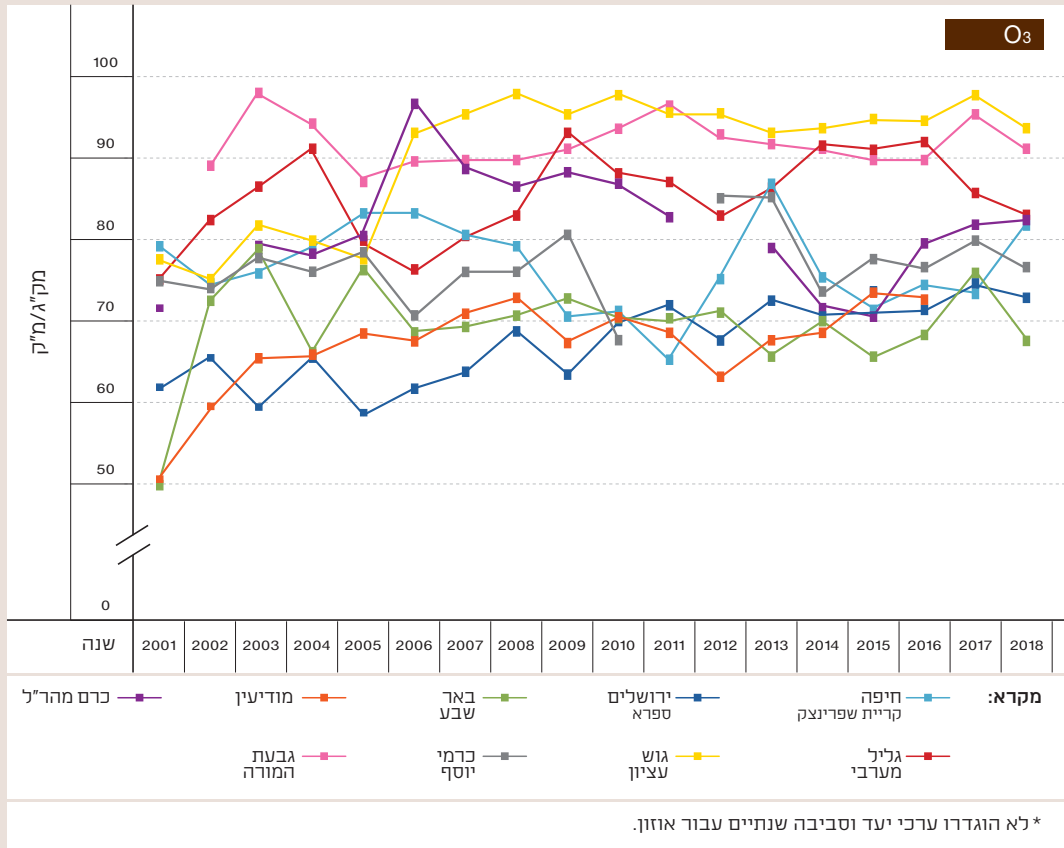
22% מסוכרת, 18% ממחלות נשימתיות שאינן סרטן, 12% מסרטן הריאות ו-13% מסיבות אחרות. עם זאת, מאחר שהרכב החומר החלקיקי בישראל שונה מהרכבו באירופה ובארצות הברית (בשל ריכוזי אבק גבוהים) ועשוי להיות פחות רעיל, יש לגבש הערכה מותאמת לישראל של התמותה עקב חשיפה אליו. גם שיעור מקרי המוות ממחלת ריאות חסימתית כרונית המיוחסים לחשיפה לאוזון בישראל נותר קבוע בשנים האחרונות (שלושה מקרי מוות ל-100,000 נפש בשנת 2017).

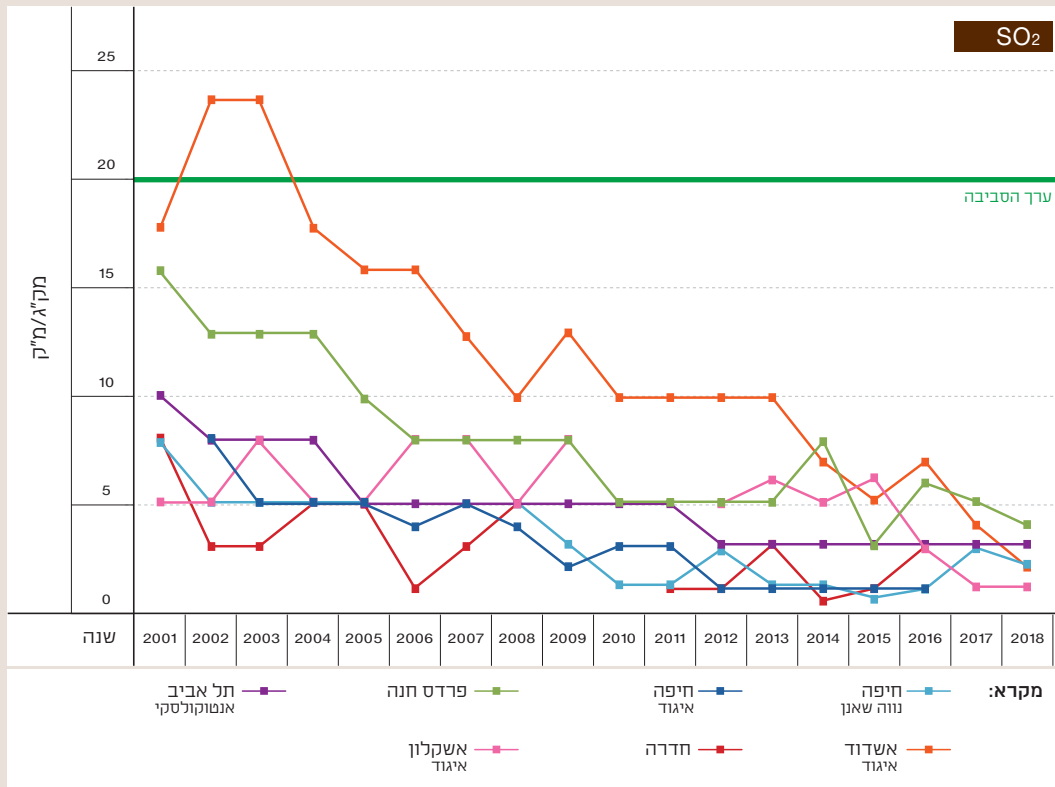
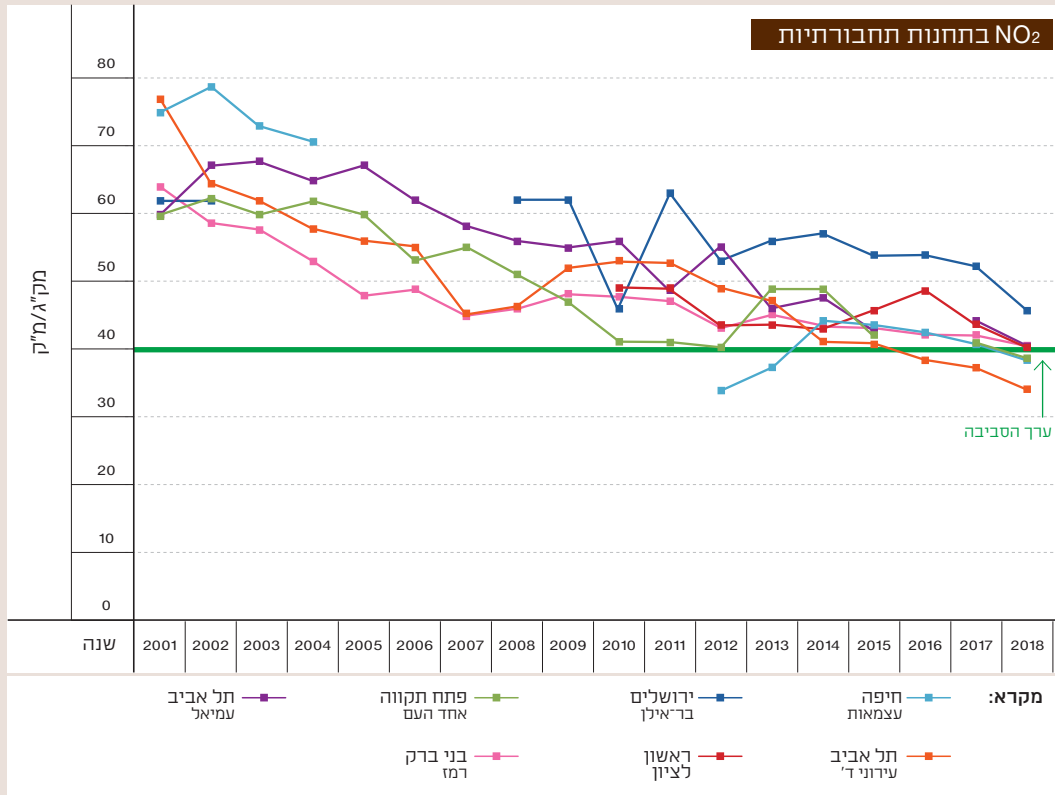
מגמות בריכוזי מזהמי אוויר (ממוצע שנתי) באתרים נבחרים בישראל, 2001-2018



←
תרשים 1
המשרד להגנת
הסביבה⁵

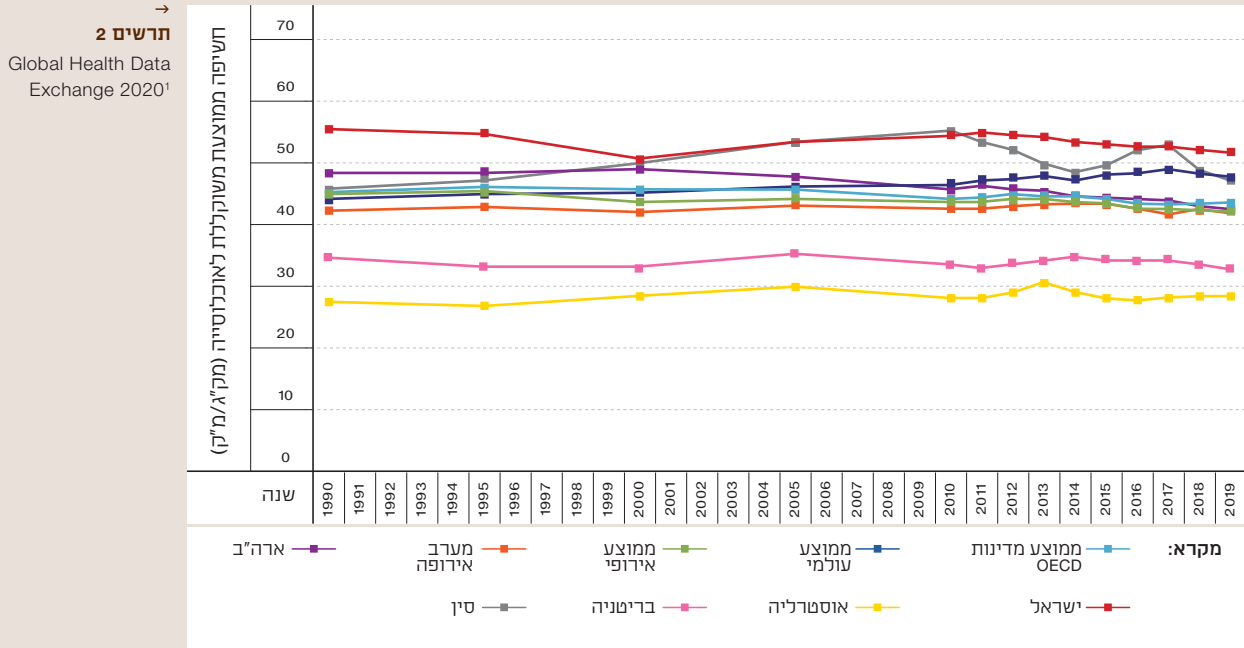






באזורים כפריים, שבהם נמדדים ריכוזים גבוהים של המזהם אוזון, לא נרשמה ירידה בריכוזים. יתרה מזו, החשיפה הממוצעת (המשוקללת לאוכלוסייה) לאוזון בישראל גבוהה במידה ניכרת מהממוצע העולמי, מהממוצע במדינות ה-OECD ומהממוצע האירופי (תרשים 2).¹ לפיכך יש לפעול להפחתת פליטות שמובילות להיווצרות אוזון (פחמימנים ותחמוצות חנקן) ולקדם את השימוש במקורות אנרגייה מתחדשים ובכלי תחבורה ירוקים. כמו כן יש ליישם את תוכנית ההמשך למניעה ולצמצום של זיהום האוויר בישראל.⁹

חשיפה ממוצעת לאוזון, משוקללת לאוכלוסייה במדינות שונות בעולם



האתגר: עדכון ערכי היעד והסביבה

אתגר לשנים הבאות: המשך עדכון עיתי של ערכי היעד והסביבה (עדכון חמש-שנתי).

בקצרה: ערכי היעד והסביבה של כמה מזהמי אוויר נתונים בעיצומו של תהליך עדכון.

ערכי היעד והסביבה של 28 מזהמים נקבעו בעבר ואמורים להתעדכן בכל חמש שנים. המשרד להגנת הסביבה צפוי להגיש את העדכון הקרוב עד לתחילת חודש מרץ 2022. במסגרת העדכון נעשה תעדוף של הכימיקלים שאת ערכי היעד שלהם יש לעדכן, ונבחן מידע חדש שמפרסמים ארגונים רגולטוריים בעולם, כגון ארגון הבריאות העולמי, סוכנות הסביבה האירופית (European Environment Agency – EEA) והסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה (U.S. Environmental Protection Agency – EPA). במסגרת תהליך זה מתקיים דיון סביב עדכון ערכי היעד של שבעה מזהמי אוויר: טולואן, סטירן, ניקל, תחמוצות חנקן, חומר חלקיקי עדין מרחף (suspended particulate matter – SPM), סולפאט ואבק שוקע (settling dust). הערכת ערכי הסביבה של תשעה מזהמי אוויר (טולואן, סטירן, ניקל, גופרית דו-חמצנית, 1,2 דיכלורואתאן, טטרהכלורואתילן, מימן גופרי, נדיום וארסן) צפויה להסתיים במהלך 2021. עם סיום תהליך העדכון של ערכי היעד והסביבה תוגש הצעה לאישור ועדת הפנים והגנת הסביבה של הכנסת.

האתגר: שיפור הפיזור המרחבי של תחנות ניטור האוויר

אתגר לשנים הבאות: יש להקים תחנות ניטור נוספות ברחבי הארץ, בעיקר בדרומה.

בקצרה: בשנים האחרונות הוקמו כמה תחנות ניטור, גם בצפון הארץ ובדרומה; נעשה שימוש במודלים המאפשרים לקבל תמונת מצב של פיזור מזהמי אוויר גם במקומות המרוחקים מתחנות הניטור.

לאורך השנים מוקמות בישראל תחנות חדשות לניטור איכות האוויר, ותחנות קיימות משודרגות לניטור מזהמים נוספים. המשרד להגנת הסביבה פועל להקמת תחנות ניטור נוספות על פי שני קריטריונים עיקריים: (א) אזורים שבהם מתגוררת אוכלוסייה גדולה או אוכלוסייה ברמת צפיפות גבוהה; (ב) קרבה למקור הפליטה. בשנים האחרונות הוקמו תחנות ניטור בקטורה, נמל אשדוד, זכרון יעקב, עתלית, קיסריה ותל חי (למפת תחנות ניטור האוויר בישראל ראו באתר המשרד להגנת הסביבה).¹⁰ כמו כן הוקמו תחנות לניטור האוויר ממזרח לאסדת לווייתן, והן משמשות למדידה רציפה של בנזן. בעתיד הקרוב מתוכננת הקמה של עוד תחנת ניטור בנמל חיפה. חשוב לשפר את הפיזור המרחבי של התחנות לניטור אוויר ולהקים תחנות גם במקומות פחות מאוכלסים כדוגמת הנגב. תחנות אלה ישמשו כדי לחקור את האוכלוסיות המתגוררות באזורים אלה במחקרים אפידמיולוגיים, ויוכלו לסייע גם למחקר הגאואקלימי באזורים אלה, מחקר שעשוי לאמת ולשפר את המודלים הארציים המשמשים למחקרי בריאות הציבור בישראל.

ראוי לציין כי ההערכות השנתיות של ריכוזי המזהמים באוויר והתחזיות היומיות מתבססות לא רק על המידע מתחנות הניטור אלא גם על מודלים ממוחשבים לפיזור מזהמים (CHIMERE). מודלים אלה מאפשרים לקבל הערכות על רמת מזהמי האוויר גם באזורים המרוחקים מתחנות הניטור.

האתגר: שיפור בתכנון תחבורה בת־קיימה

אתגר לשנים הבאות: הרחבת המיזמים לערים נוספות, בעיקר באזורים מופחתי פליטות; בחינת ההשפעה של אזור מופחת פליטות על זיהום האוויר ועל בריאות הציבור.

בקצרה: בשנים האחרונות מקודמים כמה מיזמים חשובים התומכים במעבר לתחבורה בת־קיימה.

- המשרד להגנת הסביבה, בשיתוף משרד התחבורה, מקדם כמה מיזמים לשיפור תחבורה בת־קיימה:
 - תמיכה באזורים מופחתי פליטות – מדובר בערים כדוגמת חיפה וירושלים, שבהן יש הגבלה על רכבי הדיזל המזהמים שאינם עומדים בתקן יורו 4 לזיהום אוויר או שלא הותקן בהם מסנן חלקיקים ייעודי להפחתת זיהום האוויר; בירושלים משקיע המשרד להגנת הסביבה 24 מיליון ש"ח בסיוע לעירייה בתפעול המיזם, בסבסוד התקנת מסננים לציבור בעלי הרכב, ובסיוע לחברת אגד ברכישת 10 אוטובוסים חשמליים לעיר;¹¹
 - קידום השימוש באוטובוסים חשמליים – המשרד להגנת הסביבה מציע לחברות התחבורה הציבורית תמיכה ברכישת אוטובוסים חשמליים חדשים (כ־80 אוטובוסים) שיפעלו ברחבי הארץ, בעלות כוללת של 23 מיליון ש"ח;¹²
 - קידום שירותי הסעה (שאטלים) ותחבורה ציבורית בהזמנה אישית כדוגמת bubble;

- קידום מעבר למוניות חשמליות או היברידיים – מיזם זה, בשיתוף הקרן הקימת לישראל (קק"ל), מעניק תמיכה של עד 20,000 ש"ח למוניות שיעברו להנעה היברידית;¹³
- פתיחת מסלולי נסיעה שיתופיים שיפחיתו עומס בכבישים ויביאו להפחתה בזיהום אוויר ממקור תחבורתי;
- תמיכה במעבר של כלי רכב כבדים להנעה בגז טבעי;
- יישום תוכנית להפחתת הפליטות ממשאיות דיזל ישנות (על ידי התקנת מסנני חלקיקים ועל ידי גריטה) בהשקעה כוללת של 260 מיליון ש"ח;¹⁴
- קידום התקנת מסנני חלקיקים ברכבות;
- התקנת מסנני חלקיקים במשאיות אשפה בהשקעה של כ-10 מיליון ש"ח (בשיתוף עם קק"ל).^{15, 16}

האתגר: שילוב נתונים אפידמיולוגיים מתוך מחקרים בישראל באומדן נטל התחלואה מזיהום אוויר ובעלויות הנלוות לו

אתגר לשנים הבאות: פרסום ממצאי המחקרים במסגרת אומדן נטל התחלואה מזיהום אוויר והעלויות הנלוות לו; הרחבת המחקרים לעוד אזורים גאוגרפיים.

בקצרה: המשרד להגנת הסביבה מממן שורה של מחקרים העוסקים בנטל התחלואה בישראל בעקבות חשיפה לזיהום אוויר, בדגש על מפרץ חיפה.

המשרד להגנת הסביבה מימן בשנים האחרונות שמונה מחקרים העוסקים בהיבטים אפידמיולוגיים של חשיפה לזיהום אוויר בישראל. מרבית המחקרים המתבצעים בימים אלה מתמקדים באוכלוסייה המתגוררת במפרץ חיפה ובהשוואתה לאוכלוסיות המתגוררות באזורים אחרים בישראל. המחקרים עוסקים במגוון תחומים: ניטור ביולוגי, בחינת תוצאי היריון, תחלואה נשימתית בתינוקות, היארעות סרטן ומחלות לב, וכן בהערכות כלכליות של נזקי החשיפה למזהמי אוויר.

משרד הבריאות בודק שיעורי אשפוז עקב אסתמה של ילדים ומבוגרים לפי מחוזות שונים בישראל במשך יותר מ-20 שנה (1996–2018). כמו כן, בשיתוף פעולה עם שירותי בריאות כללית (המבטחת כ-60% מכלל אוכלוסיית ישראל) נעשת הערכה של שיעורי היארעות והימצאות של מקרי אסתמה בקרב ילדים (בני 2–18) ובקרב מבוגרים (בני 25–54) לפי מחוזות ונפות בישראל בשנים 1998–2015.

החל משנת 2012 מפרסם המשרד להגנת הסביבה הערכות של עלויות חיצוניות לפליטות מזהמי אוויר וגזי חממה בישראל (עלויות הנזקים הנובעים מזיהום אוויר ומפליטות גזי חממה). הערכות אלה כוללות עלויות משוערות הנובעות מעלייה בשיעורי התחלואה (שיעורי שנות חיים מתוקננות לאי־תפקוד [disability adjusted life years – DALYs]), בשיעורי התמותה ובהשפעות סביבתיות. עוד המשרד עוסק בעדכון ערכים אלה על סמך מחקרים עדכניים, ובעיקר פרסומים עדכניים של ארגון הבריאות העולמי על השפעות זיהום האוויר על בריאות האדם.^{17, 18} בין היתר העדכון כולל: (א) הערכת העלויות החיצוניות על בסיס ערכים שנקבעו לאחרונה במדינות האיחוד האירופי; (ב) הצגת טווח ערכים לזיהום אוויר מתעשייה ומתחבורה; (ג) תחזיות שונות של השפעת שינויי אקלים, כך שישקפו את אי־הוודאות בהערכות מסוג זה; (ד) שקלול התמ"ג לנפש וצפיפות האוכלוסייה בעדכון הערכים; (ה) התאמת הערכים למדד המחירים לצרכן; (ו) הפרדה בין פליטות מארובות הגבוהות מ-100 מ' לארובות הנמוכות מגובה זה; (ז) שימוש בגישה השמרנית להערכת עלות חיצונית של גזי חממה על פי עלות הנזק.

האתגר: איסוף מידע על תרומתם של מקורות שונים לזיהום האוויר בישראל (source apportionment techniques)

אתגר לשנים הבאות: איסוף מידע על תרומתם של מקורות נוספים לזיהום האוויר בישראל; ביצוע סימולציה של מודלים להסעת כימיקלים.

בקצה: רשימת מקורות הפליטות שהמשרד להגנת הסביבה אוסף ומפרסם הורחבה באופן ניכר.

רשימת מקורות הפליטות שהמשרד להגנת הסביבה אוסף ומפרסם כוללת היום מקורות רבים יותר מבעבר, למשל רכבות, אנויות, שרפת פסולת, גידול בעלי חיים, שרפת ביומסה בחקלאות ושימוש בקמינים.

המשרד להגנת הסביבה בוחן אסטרטגיות להפחתת זיהום האוויר מכלי השיט בנמלי חיפה ואשדוד. סקר היתכנות שהזמין המשרד הראה כי כלי השיט בנמלים אלה אחראים לפליטות ניכרות של מזהמי אוויר, מה שעלול להשפיע על איכות האוויר באזורים מאוכלסים בקרבת הנמלים. יתר על כן, מתברר כי בשנת 2018 הפליטות מכלי השיט בנמלי הים בישראל היוו כ-16% מסך פליטות תחמוצות הגופרית, 8% מסך תחמוצות החנקן וכ-7% מסך פליטות ה-PM_{2.5}. המשרד גיבש המלצות על אמצעים טכנולוגיים ורגולטוריים שיש לנקוט לצורך הפחתת הפליטות מכלי שיט.¹⁹

מחקרים על איכות האוויר בישראל

חשיפה למזהמי אוויר

- חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) פיתחו מודל להערכת רמות החשיפה למזהמי אוויר בקרב מדגם של מבוגרים עובדים ($N \sim 168,000$) אשר מקומות מגוריהם ועבודתם ידועים. החוקרים מצאו שהיו אי־דיוקים בהערכת רמת החשיפה לאורך היום, בעיקר בשל תנועת אנשים ממקום למקום (עבודה, בית ועוד). עוד הראו החוקרים כי לשהייה קצרת טווח באזורים שבהם ריכוזים גבוהים של מזהמי אוויר תרומה קטנה יותר לחשיפה הכוללת למזהמים.²⁰
- חוקרים מהמשרד להגנת הסביבה וממשרד הבריאות השתמשו במודל היברידי להערכת החשיפה של האוכלוסייה בישראל למזהמי אוויר שונים. החוקרים הראו כי כלל אוכלוסיית ישראל חשופה לריכוזים של PM_{2.5} ו-PM₁₀ הגבוהים מערכי היעד אך נמוכים מערכי הסביבה וכי למעלה ממיליון וחצי תושבים בישראל חשופים לריכוזים של תחמוצות חנקן הגבוהים מערכי היעד.⁷
- חוקרים מאוניברסיטת בן־גוריון בנגב ומהמרכז הרפואי האוניברסיטאי סרוקה חקרו את דפוס הקשר בין חשיפה לחומר חלקיקי נשימתי לתוצאי בריאות שליליים הנובעים ממקורות שונים (אנתרופוגנים ולא־אנתרופוגנים). החוקרים הראו כי קיים מתאם ליניארי בין חשיפה ל-PM₁₀ להחמרה בתסמיני אסתמה בקרב חולים במחלה, ללא קשר למקור הזיהום.²¹
- בימים אלה מתנהלים כמה מחקרים, במימון המשרד להגנת הסביבה, על חשיפה למזהמי אוויר במפרץ חיפה: (א) ניטור ביולוגי של מזהמי אוויר בתורמי דם מקרב אוכלוסייה המתגוררת במפרץ חיפה;²² (ב) מחקר לבדיקת הקשרים בין חשיפה למזהמי אוויר ובין מחלות לב – אי־ספיקת לב ותסמונת כלילית חריפה; (ג) הערכה כלכלית של השלכות החשיפה למזהמי אוויר במפרץ חיפה על הבריאות.
- חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון החלו לאחרונה במחקר המתמקד במקורות זיהום האוויר (source apportionment) באזור מפרץ חיפה. מטרת המחקר לאפיין ולפתח מודלים של ההרכב הכימי והפיזור של מקורות הפליטה של חלקיקים עדינים. תוצאות המחקר עשויות לסייע בהבנת מקורות הזיהום החלקיקי ובשיפור איכות הנתונים המשמשים לניהול משאבי האוויר באזור ולקביעת מדיניות.

היריון ולידה

- ♦ חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב, בשיתוף פעולה עם חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים ומבית החולים מאונט-סיני בניו יורק, בדקו אם חשיפת נשים הרות למזהמי אוויר ולטמפרטורות קיצוניות נקשרת למשקל לידה נמוך וללידה מוקדמת בקרב האוכלוסייה בדרום הארץ. במחקר, שסקר יותר מ-56,000 לידות חי, נמצא כי חשיפה לטמפרטורות נמוכות מהממוצע במהלך ההיריון עלולה להגדיל את הסיכוי לתוצאי לידה שליליים, כגון משקל לידה נמוך ולידה מוקדמת, ואילו חשיפה לטמפרטורות גבוהות מהממוצע עשויה להפחית את הסיכוי ללידה מוקדמת.²³
- ♦ חוקרים ממכבי שירותי בריאות ומאוניברסיטת תל אביב כימתו את שכיחות הופעת המיקרוצפאליה (היקף ראש קטן) בקרב ילודים במפרץ חיפה בהשוואה לילודים באזורים אחרים בישראל בהסתמך על מאגר נתוני הבריאות של מכבי. החוקרים מצאו כי אין שכיחות גבוהה יותר של מיקרוצפאליה באזור מפרץ חיפה בהשוואה לאזורים אחרים בישראל.²⁴
- ♦ חוקרים מאוניברסיטת חיפה בחנו מודל מרחבי לזיהוי מזהמים סביבתיים שלהם קשר אפשרי למשקל לידה נמוך והיקף ראש קטן ביילודים. החוקרים איתרו באזור התעשייה של חיפה אתר מסוים כמקור סיכון משמעותי.²⁵
- ♦ חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון, מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב וממשרד הבריאות, בשיתוף עם חוקרים מאוניברסיטת קולומביה ומאוניברסיטת הרווארד, חקרו אם חשיפה של נשים הרות לזיהום אוויר תחבורתי נקשרת להפלות במהלך ההיריון. אוכלוסיות המחקר היו נשים הרות מבוססות ונשים הרות ממחוז תל אביב. בשתי האוכלוסיות נמצא כי חשיפה לריכוזים גבוהים של זיהום אוויר תחבורתי נקשרת להפלות, בעיקר בין השבוע ה-10 לשבוע ה-20 להיריון.²⁶
- ♦ חוקר מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב סקר את תרומתן של תשתיות ירוקות להפחתת הסיכון לתוצאי לידה שליליים, בדגש על לידה מוקדמת, בעקבות חשיפה לטמפרטורות גבוהות ולמזהמי אוויר. מהמחקר עלה כי חשיפה לחומר חלקיקי וכן חשיפה לטמפרטורות קיצוניות במהלך ההיריון (בשליש הראשון ובשליש השלישי) נקשרות לעלייה בשיעורי לידות מוקדמות. מנגד, נמצא כי תשתיות ירוקות מביאות להפחתה בחומר חלקיקי ולמניעה של איי חום עירוניים. בכך הן ממתנות את ההשפעות השליליות של החשיפה (הן לחומר חלקיקי הן לטמפרטורות גבוהות) על תוצאי הלידה.²⁷
- ♦ חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב, מאוניברסיטת חיפה, מאוניברסיטת תל אביב, מהקריה הרפואית רמב"ם וממכבי שירותי בריאות עורכים מחקר הבוחן מסד נתוני עתק (big data) של הרינונות ולידות באזור מפרץ חיפה מהשנים 1998-2017 (כ-750,000 לידות). המחקר נועד לבדוק את השפעות הסביבה (ובכלל זה זיהום אוויר חוץ-מבני ותוך-מבני) על התפתחות העובר באזור מפרץ חיפה לעומת אזורים אחרים בישראל.²⁸
- ♦ חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון ומבית הספר לבריאות הציבור בהרווארד בדקו את הקשר בין זיהום אוויר ממקור תחבורתי לתסמונת הספקטרום האוטיסטי (ASD). נבדק קשר בין חשיפת האם לחנקן דו-חמצני במהלך ההיריון וחשיפת היילוד למזהם זה לאחר לידתו ובין סיכון ל-ASD בילדים שנולדו בשנים 2005-2009. החוקרים מצאו שחשיפת יילודים ופעוטות, אבל לא נשים הרות, לחנקן דו-חמצני נקשרת לסיכויים גבוהים יותר ללקות ב-ASD.²⁹
- ♦ במחקר המשך חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, מאוניברסיטת קולומביה ומאוניברסיטת הרווארד הציעו שני הסברים לממצאיהם בנוגע לקשר ההפוך בין חשיפה למזהמי אוויר בתקופת ההיריון ובין ASD. ההסבר הראשון מייחס עוד גורמי סיכון ל-ASD, נוסף על חשיפת האם למזהמי האוויר; ההסבר השני מתייחס להפלה טבעית של עוברים שלקו ב-ASD במהלך ההיריון בעקבות חשיפה למזהמי האוויר.³⁰

- בימים אלה מתנהלים שלושה מחקרים, במימון המשרד להגנת הסביבה, העוסקים בנושאים אלה: (א) ניטור ביולוגי של מזהמים אורגניים ושל מתכות כבדות בקרב אימהות וילדיהן, כדי לבדוק השפעות של חשיפה למזהמי אוויר במהלך ההיריון על תוצאי ההיריון; (ב) בחינת הקשר בין חשיפה למזהמי אוויר במהלך ההיריון והינקות לתחלואה במערכת הנשימה של תינוקות; (ג) בחינת הקשר בין חשיפה סביבתית למזהמי אוויר ובין גדילת העובר.

תוצאים ביוכימיים ופיזיולוגיים

- חוקרים מאוניברסיטת תל אביב, ממשרד החקלאות ופיתוח הכפר, מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב ומהמרכז הרפואי ע"ש חיים שיבא – תל השומר פיתחו שיטה לחשיפת תרבויות ראשוניות של תאים אפיתליאליים לחומר חלקיקי בתנאי מעבדה, המדמה נשימה דרך האף. החוקרים מצאו שחשיפה זו גורמת לתגובה פיזיולוגית המתבטאת בהפרשה מוגברת של מולקולות תאיות כגון IL-8.³¹
- חוקרים ממכון ויצמן למדע, בשיתוף פעולה עם חוקרים מאוניברסיטת פקין, חקרו את המנגנון הביוכימי שבו פועל פקטור השעתוק Nrf2. ל-Nrf2 יכולת הגנה על תאי ריאה מפני ההשפעות הרעילות של חשיפה ל-PM_{2.5}, והשתקתו גורמת לרגישות יתר של תאי הריאה לחומר חלקיקי. יתר על כן, נרשמה תמותה מוגברת של תאים שבהם הפקטור מושקע, אשר נחשפו לפחמימנים ארומטיים רב-טבעתיים. החוקרים הראו כי השתקת הפקטור גורמת לפעילות מואצת של המיטוכונדריה, וכי חשיפה למזהמים שונים הביאה לירידה בפוטנציאל הממברנאלי של המיטוכונדריה ולהפחתת מספרם של עותקי ה-DNA המיטוכונדריאלי. מסקנת החוקרים הייתה ש-Nrf2 משמש מתווך (mediator) לפעילות מיטוכונדריאליית בעקבות חשיפה ל-PM_{2.5}.³²
- חוקרים מאוניברסיטת תל אביב, מאוניברסיטת בר-אילן ומאוניברסיטת חיפה בדקו השפעה של חשיפה לרעש, לטמפרטורות שונות ולריכוזי פחמן דו-חמצני על קצב הלב של נשים יהודיות ומוסלמיות ששהו בסביבות שונות (סביבה ירוקה כגון פארקים, מרכז העיר ואזור מגורים). החוקרים הראו את ההשפעה החיובית של שהייה בסביבה ירוקה, שריכוזי הפחמן החד-חמצני בה היו אפסיים, על קצב הלב של הנשים.³³

תחלואה נשימתית

- חוקרים מאוניברסיטת חיפה דיווחו על הימצאות אסתמה בקרב גברים צעירים באזורים עירוניים בישראל המשופעים במקורות זיהום אוויר תעשייתית ותחבורתי, כמו תל אביב, חיפה וחדרה. החוקרים מצאו כי שיעורי הימצאות האסתמה עולים עם החשיפה למקורות הזיהום השונים הן התעשייתית הן התחבורתית.³⁴
- חוקרים מאוניברסיטת חיפה פיתחו מודל להפחתת תחלואה הנגרמת מחשיפה למזהמי אוויר. המודל משלב הרחקת מקורות זיהום מאזורים המאוכלסים בצפיפות והחלפתם בסביבה ירוקה. החוקרים הפעילו את המודל באזור מפרץ חיפה והראו כי הרחקת מקורות הזיהום תביא לירידה של כ-70% במקרי האסתמה בקרב ילדים המתגוררים באזור.³⁵
- חוקרים מאוניברסיטת חיפה ומצה"ל חקרו קשרים בין חשיפה למזהמי אוויר שונים (חנקן דו-חמצני וגופרית דו-חמצנית) ובין היארעות אסתמה. הם בדקו נתונים של יותר מ-137,000 מועמדים לשירות ביטחון, בני 17, בשנים 1999–2008, והעריכו את מידת חשיפתם למזהמים אלה על סמך מקום מגוריהם באמצעות כמה מודלים. נמצא קשר ישיר חזק בין חשיפה לחנקן דו-חמצני ובין היארעות אסתמה באוכלוסייה זו וקשר ישיר חלש יותר בין חשיפה לגופרית דו-חמצנית ובין היארעות אסתמה.³⁶

סרטן ומחלות לב

- חוקרים מאוניברסיטת תל אביב, בשיתוף פעולה עם חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון, מהאוניברסיטה העברית בירושלים ומבתי החולים הדסה, בילינסון והשרון, בדקו את הקשר בין חשיפה כרונית למזהמי אוויר ממקור תחבורתי ובין מקרים חדשים של מחלת הסרטן בקרב אוכלוסייה של 10,000 איש שחלו באוטם שריר הלב בשנים 2004–2015. החוקרים הראו שעלייה של 10 חלקים למיליארד (ppb) בחשיפה לתחמוצות חנקן – סמן לחשיפה לזיהום ממקור תחבורתי – מגבירה את הסיכון לחלות במספר סוגי סרטן, בעיקר סרטן השד, סרטן הריאות, סרטן הכליות, סרטן הערמונית וסרטן שלפוחית השתן.³⁷ במחקר אחר הראו החוקרים כי עלייה של 10 חלקים למיליארד בחשיפה לתחמוצות חנקן נקשרת לעלייה בשיעורי התמותה בקרב חולים במחלות לב כליליות (ביחס סיכון [hazard ratio] של 1.13).³⁸
- במחקר המשך השתמשו החוקרים במודלים שונים להצגת הקשר בין החשיפה למזהמי אוויר תחבורתיים (תחמוצות חנקן) ובין היארעות סרטן. החוקרים הראו שיש קשר מובהק בין חשיפה למזהמים אלה ובין היארעות של סוגי סרטן שידוע הקשר שלהם לחשיפה למזהמים תחבורתיים (סרטן הריאות, השד והערמונית), אך לא נמצא קשר בין חשיפה זו לסוגי סרטן אחרים.³⁹
- בימים אלה מתנהל מחקר, במימון המשרד להגנת הסביבה, לבדיקת הקשר בין חשיפת בני 17 למזהמי אוויר סביבתיים במפרץ חיפה ובין היארעות סרטן בבגרות.

אתגרים לשנים הבאות

בשנים האחרונות הושגה התקדמות בניטור, במחקר ואף בצמצום הפליטות של כמה מזהמי אוויר, אך נושא איכות האוויר בישראל מוסיף להציב אתגרים משמעותיים, בעיקר בתחום של שינויים במשק האנרגיה של ישראל. בשלהי שנת 2019 החלה הזרמה של גז טבעי מאסדת לווייתן, הממוקמת כעשרה ק"מ מערבית לחיפה, מול חוף זכרון יעקב. במסגרת תהליך ההיערכות להזרמת הגז הקים המשרד להגנת הסביבה תחנות ניטור למדידת בנזן, טולואן ואתילבנזן. על פי המשרד השפעת האסדה על איכות האוויר שולית ותתבטא בתוספת של 1% מסך רמת הבנזן בסביבה.⁴⁰ עם זאת, חשוב להמשיך לעקוב אחר פליטות מהאסדה ולנטר עוד מזהמי אוויר בחופי ישראל. הזרמת הגז הטבעי לישראל טומנת בחובה כמה הזדמנויות בתחום האנרגיה. אחת מהן היא הקמתם של מתקנים מבוזרים המייצרים חשמל באמצעות גז טבעי (תחנות טריגנרציה) במסגרת הקמתן של שכונות מגורים חדשות בישראל.⁴¹ למרות הפוטנציאל להפחתה כוללת של מזהמי אוויר בישראל, עקב קרבת המתקנים לריכוזי האוכלוסייה חשוב לבצע תסקיר השפעה על הבריאות (health impact assessment – HIA) לפני הקמתם.

בישראל רוב הפסולת (76%) מוטמנת. שרפת פסולת במטמנות היא מקור פליטה משמעותי של חומרים חשודים או מוכרים כמסרטנים (כ-60% מהפליטות ב-2018),⁴ והרחבת שרפת הפסולת עלולה לגרום לעלייה בפליטת חומרים מסרטנים לאוויר ומכאן להגדלת חשיפת האוכלוסייה אליהם. לאור העובדה כי עתודות הקרקע של ישראל הולכות ומצטמצמות, המשרד להגנת הסביבה מקדם חלופות לשימוש במטמנות. חלופה לטיפול בפסולת היא טיפול תרמי (דהיינו – שרפת פסולת), המאפשר הפקת אנרגיה. החלופה כוללת הקמת שלושה מתקנים תרמיים לשרפת פסולת וייצור אנרגיה סמוך לאזורים המאוכלסים המייצרים את הפסולת, כדי להפחית את העלות והמפגעים הסביבתיים הנגרמים משינוע הפסולת.⁴² לתוכנית יש פוטנציאל אנרגטי, אולם נדרש גם תסקיר השפעה על הבריאות טרם ביצועה.

נוסף על זיהום אוויר ממקורות תעשייתיים, תחבורתיים וטבעיים, משקי חי מהווים גם הם מקור לפליטות של מזהמי אוויר לסביבה, בהם חומר חלקיקי, אמוניה, תחמוצות חנקן ותרכובות אורגניות נדיפות. הן בסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה הן בסוכנות הסביבה האירופית הועלו חששות בנוגע למזהמי אוויר שונים הנפלטים ממשקי חי. גם בישראל נדרש לנטר את איכות האוויר בקרבת משקי חי ולערוך מחקרים על השפעתם על פליטות מזהמי אוויר.

מקורות

- (1) Global Health Data Exchange (GHDx). GBD results tool. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (retrieved July 2020).
- (2) Negev, M. (2020). Air pollution policy in Israel. *Atmosphere*, 11(10), 1065. <https://doi.org/10.3390/atmos11101065>
- (3) המשרד להגנת הסביבה (2013). **תכנית לאומית למניעה ולצמצום של זיהום אוויר בישראל: הצעה להחלטה. נספח 148, נוסח מתוקן שני**. <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/Documents/AirpollutionNationalPlan148.pdf> (אוחזר במרץ 2020).
- (4) המשרד להגנת הסביבה (2020). **הערכת מצב. יוני 2020**.
- (5) המשרד להגנת הסביבה. אתר מערך ניטור אוויר ארצי (מנ"א) – נתוני איכות אוויר בזמן אמת. <https://www.svivaqam.net/Default.rtl.aspx> (אוחזר באפריל 2020).
- (6) OECD Better Life Index. Israel. <http://www.oecdbetterlifeindex.org/countries/israel/> (retrieved October 2020).
- (7) Levy, I., Karakis, I., Berman, T., Amitay, M., & Barnett-Itzhaki, Z. (2020). A hybrid model for evaluating exposure of the general population in Israel to air pollutants. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 4. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7960-8>
- (8) Global Burden of Disease and Organization for Economic Co-operation and Development (2020). Air pollution effects (indicator). <https://data.oecd.org/air/air-pollution-effects.htm#indicator-chart> (retrieved June 2020).
- (9) המשרד להגנת הסביבה. **תכנית לאומית לצמצום ולמניעת זיהום אוויר בישראל**. <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/Pages/NationalPlan.aspx> (אוחזר במרץ 2020).
- (10) המשרד להגנת הסביבה. **מפת תחנות ניטור אוויר**. <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/AirQualityData/NationalAirMonitoring/Pages/MonitoringStationsMap.aspx> (אוחזר באוקטובר 2020).
- (11) המשרד להגנת הסביבה (עודכן בספטמבר 2019). **המשרד להגנת הסביבה ועיריית ירושלים מקדמים אזור מופחת פליטות בירושלים**. https://www.gov.il/he/departments/news/low_emission_zone_jerusalem (אוחזר במרץ 2020).
- (12) המשרד להגנת הסביבה (עודכן במאי 2019). **אוטובוסים חשמליים**. https://www.gov.il/he/departments/general/electric_buses (אוחזר במרץ 2020).
- (13) המשרד להגנת הסביבה (עודכן ביוני 2019). **מוניות מופחתות זיהום – מוניות היברידיות**. https://www.gov.il/he/Departments/Guides/hybrid_taxis (אוחזר במרץ 2020).

- (14) המשרד להגנת הסביבה (2016). לראשונה: השקעות המדינה בהפחתת זיהום אוויר חוצות את ה-1.4 מיליארד שקל, עם תוכנית חדשה בהובלת המשרד להגנת הסביבה לצמצום זיהום אוויר מתחבורה בהיקף 260 מיליון שקל.
<http://www.sviva.gov.il/InfoServices/NewsAndEvents/MessageDoverAndNews/Pages/2016/August2016/national-plan-vehicle-pollution.aspx> (אוחזר במרץ 2020).
- (15) המשרד להגנת הסביבה (עודכן במרץ 2020). צמצום זיהום אוויר מרכבי דיזל.
https://www.gov.il/he/departments/guides/heavy_diesel_engines_program?chapterIndex=4 (אוחזר במרץ 2020).
- (16) המשרד להגנת הסביבה (2017). 52 משאיות אשפה כבר הצטרפו למהפכה והותקנו בהן מסנני חלקיקים!
<http://www.sviva.gov.il/InfoServices/NewsAndEvents/MessageDoverAndNews/Pages/2017/August2017/Installation-of-particle-filters-in-garbage-trucks.aspx> (אוחזר במרץ 2020).
- (17) המשרד להגנת הסביבה (עודכן במרץ 2020). מסמכים להערות הציבור: עלויות חיצוניות של מזהמי אוויר וגזי חממה – טיוטה להערות הציבור.
https://www.gov.il/he/departments/publications/Call_for_bids/pc_external_costs_of_air_pollution (אוחזר במרץ 2020).
- (18) המשרד להגנת הסביבה (2020). הספר הירוק – הערכה ומדידה של עלויות סביבתיות. עלויות חיצוניות של מזהמי אוויר וגזי חממה – טיוטה להערות.
https://www.gov.il/BlobFolder/publicsharing/pc_external_costs_of_air_pollution/he/public_comments_2020_External_air_pollution_costs_pc.pdf (אוחזר במרץ 2020).
- (19) המשרד להגנת הסביבה (עודכן בנובמבר 2019). סקר היתכנות שבוצע במימון המשרד להגנת הסביבה: אוניות בנמלי אשדוד וחיפה מייצרות זיהום אוויר כבד של תחמוצות חנקן וגופרית.
https://www.gov.il/he/departments/news/air_pollution_haifa_ashdod (אוחזר במרץ 2020).
- (20) Shafran-Nathan, R., Yuval, & Broday, D. M. (2018). Impacts of personal mobility and diurnal concentration variability on exposure misclassification to ambient pollutants. *Environmental Science & Technology*, 52(6), 3520–3526. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05656>
- (21) Novack, L., Shenkar, Y., Shtein, A., Kloog, I., Sarov, B., & Novack, V. (2020). Anthropogenic or non-anthropogenic particulate matter: Which one is more dangerous and how to differentiate between the effects? *Chemosphere*, 240, 124954. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124954>
- (22) Hassan, L., Moser, A., Rorman, E., Groisman, L., Naor, Y., Shinar, E., ... Novack, L. (2020). Human biologic monitoring based on blood donations to the National Blood Services. *BMC Public Health*, 20(1), 469. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08588-7>
- (23) Kloog, I., Novack, L., Erez, O., Just, A. C., & Raz, R. (2018). Associations between ambient air temperature, low birth weight and small for gestational age in term neonates in southern Israel. *Environmental Health*, 17(1), 76. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0420-z>
- (24) קורן, ג', כץ, ר' ושלר, ר' (2018). היקף הגולגולת של ילודים באזורי זיהום האוויר במפרץ חיפה. **הרפואה**, 157(10), 645–643. https://cdn.doctoronly.co.il/2018/10/10_gidon-koren_haifa.pdf
- (25) Svehkina, A. & Portnov, B. A. (2019). Spatial identification of environmental health hazards potentially associated with adverse birth outcomes. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(4), 3578–3592. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3800-6>
- (26) Kioumourtoglou, M. A., Raz, R., Wilson, A., Fluss, R., Nirel, R., Broday, D. M., ... Weisskopf, M. G. (2019). Traffic-related air pollution and pregnancy loss. *Epidemiology*, 30(1), 4–10. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000918>
- (27) Kloog, I. (2019). Air pollution, ambient temperature, green space and preterm birth. *Current Opinion in Pediatrics*, 31(2), 237–243. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000736>
- (28) Golan, R., Kloog, I., Almog, R., Gesser-Edelsburg, A., Negev, M., Jolles, M., ... Levine, H. (2018). Environmental exposures and fetal growth: The Haifa pregnancy cohort study. *BMC Public Health*, 18(1), 132. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5030-8>

- (29) Raz, R., Levine, H., Pinto, O., Broday, D. M., Yuval, & Weisskopf, M. G. (2018). Traffic-related air pollution and autism spectrum disorder: A population-based nested case-control study in Israel. *American Journal of Epidemiology*, 187(4), 717–725. <https://doi.org/10.1093/aje/kwx294>
- (30) Raz, R., Kioumourtzoglou, M. A., & Weisskopf, M. G. (2018). Live-birth bias and observed associations between air pollution and Autism. *American Journal of Epidemiology*, 187(11), 2292–2296. <https://doi.org/10.1093/aje/kwy172>
- (31) Elad, D., Zaretsky, U., Avraham, S., Gotlieb, R., Wolf, M., Katra, I., Sarig, S., & Zaady, E. (2018). In vitro exposure of nasal epithelial cells to atmospheric dust. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 17, 891–901. <https://doi.org/10.1007/s10237-017-0999-y>
- (32) Pardo, M., Xu, F., Shemesh, M., Qiu, X., Barak, Y., Zhu, T., & Rudich, Y. (2019). Nrf2 protects against diverse PM_{2.5} components-induced mitochondrial oxidative damage in lung cells. *Science of the Total Environment*, 669, 303–313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.436>
- (33) Saadi, D., Agay-Shay, K., Tirosh, E., & Schnell, I. (2018). A comparison of the effects of selected mono-ethnic urban environments on the autonomic functions of Muslim and Jewish women in Israel. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 627. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7000-0>
- (34) Greenberg, N., Carel, R. S., Dubnov, J., Derazne, E., & Portnov, B. A. (2019). Prevalence of asthma among young men residing in urban areas with different sources of air pollution. *Israel Medical Association Journal*, 12(21), 785–789. <https://www.ima.org.il/FilesUploadPublic/IMAJ/0/393/196926.pdf>
- (35) Broitman, D. & Portnov, B. A. (2020). Forecasting health effects potentially associated with the relocation of a major air pollution source. *Environmental Research*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109088>
- (36) Greenberg, N., Carel, R. S., Derazne, E., Tiktinsky, A., Tzur, D., & Portnov, B. A. (2017). Modeling long-term effects attributed to nitrogen dioxide (NO₂) and sulfur dioxide (SO₂) exposure on asthma morbidity in a nationwide cohort in Israel. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 80(6), 326–337. <https://doi.org/10.1080/15287394.2017.1313800>
- (37) Cohen, G., Levy, I., Yuval, Kark, J. D., Levin, N., Witberg, G., ... Gerber, Y. (2018). Chronic exposure to traffic-related air pollution and cancer incidence among 10,000 patients undergoing percutaneous coronary interventions: A historical prospective study. *European Journal of Preventive Cardiology*, 25(6), 659–670. <https://doi.org/10.1177/2047487318760892>
- (38) Cohen, G., Steinberg, D. M., Keinan-Boker, L., Yuval, Levy, I., Chen, S., ... Gerber, Y. (2020). Preexisting coronary heart disease and susceptibility to long-term effects of traffic-related air pollution: A matched cohort analysis. *European Journal of Preventive Cardiology*. <https://doi.org/10.1177/2047487320921987>
- (39) Cohen, G., Steinberg, D. M., Yuval, Levy, I., Chen, S., Kark, J. D., ... Gerber, Y. (2019). Cancer and mortality in relation to traffic-related air pollution among coronary patients: Using an ensemble of exposure estimates to identify high-risk individuals. *Environmental Research*, 176, 108560. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108560>
- (40) המשרד להגנת הסביבה. הפקת גז מאסדת לווייתן – עמדת המשרד להגנת הסביבה. https://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SeaAndShore/GassOilSea/gas_production_from_leviathan_rig/Pages/moep_position_gas_production_from_leviathan.aspx (אוחזר באוגוסט 2020).
- (41) גוטמן, ל' (2017, 9 בדצמבר). בקרוב: תחנות כוח זעירות ייצרו חשמל בשכונות מגורים. **כלכליסט**. <https://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3726966,00.html> (אוחזר בדצמבר 2020).
- (42) המשרד להגנת הסביבה (2018). **מסמך מדיניות לקידום הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל**. https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/tama_16_4/he/land_public_services_tama_16_4_1.pdf (אוחזר במרץ 2020).