

איכות האוויר

מקורות זיהום האוויר כוללים תופעות טבע, כגון סופות אבק, לצד פעילות אנתרופוגנית, כגון פליטות ממפעלי תעשייה, ממשאיות, ממכונות וממשקי בית. חשיפה למזהמי אוויר למיניהם, גם בריכוזים נמוכים, נקשרת למגוון רחב של תוצאי בריאות שליליים באוכלוסייה הכללית, ובייחוד באוכלוסיות רגישות, כגון ילדים, נשים הרות, חולים במחלות כרוניות וקשישים⁽⁷⁾. תוצאי בריאות שליליים של זיהום אוויר כוללים מחלות נשימתיות, כגון אסתמה ומחלת ריאות חסימתית כרונית, מחלות לב וכלי דם, סוגים מסוימים של סרטן, השפעות שליליות על התפתחות מערכת העצבים, תוצאי לידה שליליים, סוכרת מסוג 2, השמנת יתר וליקויים קוגניטיביים.

ממצאים מדעיים מראים כי מזהמי האוויר העיקריים הקשורים לתוצאי בריאות שליליים הם חומר חלקיקי (particulate matter - PM) בקטרים שונים (למשל PM_{2.5} - חומר חלקיקי בקוטר של עד 2.5 מיקרומטר), אוזון, חנקן דו-חמצני (nitrogen dioxide) וגופרית דו-חמצנית (sulfur dioxide). מזהמי אוויר אחרים - בנזן (benzene), פורמלדהיד (formaldehyde) ותרבויות ארומטיות רב-טבעתיות אחדות (polycyclic aromatic compounds) - ידועים כחומרים מסרטנים לבני האדם⁽³⁷⁾. הסוכנות הבין-לאומית לחקר הסרטן (International Agency for Research on Cancer - IARC) קבעה כי זיהום אוויר הוא גורם מסרטן לבני אדם (קבוצה 1)⁽¹⁹⁾.

מדיניות ורגולציה

תקני אוויר וניטור

הרגולציה של איכות האוויר נעשית על-פי חוק אוויר נקי התשס"ח - 2008, שנכנס לתוקף בינואר 2011. ערכי איכות האוויר של מזהמים שונים, שנקבעו על-ידי המשרד להגנת הסביבה בשיתוף משרד הבריאות ובעלי עניין אחרים, נכנסו לתוקף בשנת 2013. לפי חוק אוויר נקי, על מפעלי תעשייה לקבל היתרי פליטה ולצמצם פליטות בעזרת הטכנולוגיות הזמינות הטובות ביותר (Best Available Technologies - BAT). בשנת 2016 עדכן המשרד להגנת הסביבה את ערכי היעד ואת ערכי הסביבה של טריכלורואתילן (trichloroethylene), בנזן, קדמיום ופורמלדהיד באוויר. כן נוספו ערכי סביבה של 1,3-בוטדיאן (1,3-butadiene) ושל כספית (לוח 1)⁽²⁾.

ערכי איכות האוויר (מק"ג/מ"ק) בשנת 2017 בהשוואה לשנת 2011

המזהם	2011	2017	הערכים המומלצים לפי ארגון הבריאות העולמי (World Health Organization - WHO) (2000)
בנזן (benzene)	5 (שנתי)	3.9 (יומי) – ולכל היותר 7 חריגות (שנתי) 1.3	*1.7
1,3-בוטדיאן (1,3-butadiene)	-	0.3 (יומי) (שנתי) 0.3	-
קדמיום (ב-PM ₁₀) (cadmium)	5 ננוגרם/מ"ק (שנתי)	5 ננוגרם/מ"ק (יומי) (שנתי) 5 ננוגרם/מ"ק	5 ננוגרם/מ"ק
פורמלדהיד (formaldehyde)	100 (חצי שעות)	15 (שעתי) – ולכל היותר 10 חריגות שעתיות (שנתי) 3.3	100 (30 דקות)
כספית (mercury)	-	0.6 (שעתי בכלל החלקיקים באוויר) (שנתי) 0.03	1 (אדי כספית אנאורגנית)
טריכלורואתילן (trichloroethylene)	1000 (יומי)	2 (יומי) (שנתי) 2	*23

* מבוסס על סיכון של אדם אחד מתוך 100,000 נפש לחלות בסרטן במשך החיים.

←
לוח 1
מקור: המשרד
להגנת הסביבה⁽²⁾

האוויר בישראל מנוטר דרך קבע באמצעות רשת של 146 תחנות ניטור אוויר שמוודות מזהמים קריטריוניים (criteria pollutants) (אוזון, גופרית דו-חמצנית, PM_{2.5}, PM₁₀, תחמוצות חנקן [nitrogen oxides], חנקן דו-חמצני, פחמן חד-חמצני, בנזן), ו-18 תחנות המבצעות ניטור דו-שבועי של מזהמים שאינם קריטריוניים (כגון תרכובות אורגניות נדיפות [volatile organic compounds - VOCs], פחמימנים ארומטיים רב-טבעתיים [poly-aromatic hydrocarbons – PAHs], אלקהידים [aldehydes], מתכות כבדות, אמוניה ומימן גופרתי [hydrogen sulfide]). התחנות מופעלות על-ידי המשרד להגנת הסביבה, הרשויות המקומיות, איגודי ערים לאיכות הסביבה, חברת החשמל לישראל, התעשייה ורשויות הנמלים. 21 מזהמים מנוטרים בסך הכול, ובהם מזהמים קריטריוניים ומזהמים שאינם קריטריוניים. באתרים מסוימים נערכת סריקה שנתי של מזהמים נוספים, ובהם דיוקסינים (dioxins) ופורנים (furans). כל המדידות כפופות לבקרת האיכות של המשרד להגנת הסביבה, והן מתבצעות על-פי תקני הארגון הבין-לאומי לתקינה (International Organization for Standardization - ISO). בשנת 2016 החל המשרד להגנת הסביבה בניטור של פחמן שחור (black carbon) ושל חלקיקים שקוטרם קטן ממיקרומטר אחד (PM₁).

התוכנית הלאומית לצמצום זיהום אוויר במפרץ חיפה

בהמשך להחלטת ממשלה מ-2015, החל בשנת 2016 יישומה של "תוכנית לצמצום זיהום האוויר והסיכונים הסביבתיים במפרץ חיפה" לשנים 2015–2020. התוכנית הלאומית, שלרשותה תקציב של 115.5 מיליון ש"ח, צפויה להפחית ב-50% את זיהום האוויר התעשייתי במפרץ חיפה^(8,9). התוכנית כוללת הגדרת מפרץ חיפה כאזור מופחת פליטות, צמצום נסיעת משאיות כבדות בצירי תנועה ראשיים של חיפה בשעות העומס, חובת התקנה של מערכות להשבת אדי דלק בתחנות דלק במפרץ חיפה, תמיכה כספית בהפעלה של 25 אוטובוסים חשמליים ו-200 מערכים לשיתוף רכב חשמלי בחיפה, חובת התקנה של מסנני חלקיקים בכלי רכב מזהמים בעיר חיפה ותוספת של תחנות ניטור ודגימה באזור מפרץ חיפה⁽⁵⁾.

במסגרת התוכנית הלאומית פרסם המשרד להגנת הסביבה, בשיתוף משרד הבריאות, קול קורא למחקרים אפידמיולוגיים ולסקרים במפרץ חיפה, ומספר מחקרים אפידמיולוגיים שונים תוקצבו. התוכנית כוללת גם מערכת לניטור של תוצאים בריאותיים בקרב פעוטות, ילדים בגיל בית הספר ומבוגרים. התוכנית, המופעלת על-ידי משרד הבריאות, כוללת ניטור של סוכרת מסוג 2, אסתמה, מחלות לב וכלי דם, מחלות נשימה וכן של תוצאים קוגניטיביים.

סוגיות נוספות במדיניות ורגולציה

המשרד להגנת הסביבה הציע לאחרונה תקנים חדשים המחייבים תחנות דלק להתקין מערכות השבה לאדי דלק כדי לצמצם פליטות של פחמימנים. המשרד להגנת הסביבה מקדם, בשיתוף עם משרד הבריאות ומשרד התחבורה, תקנות המסדירות פליטת תחמוצות גופרית (sulfur oxides), תחמוצות חנקן, בנזן ומתכות כבדות מכלי שיט, כדי לצמצם את זיהום האוויר בנמלים ובסביבותיהם.

מספר ניכר של מפחמות הפועלות בשטחי הרשות הפלסטינית גורמות לזיהום אוויר חמור ולמפגע ריח רע הפוגעים הן בתושבים פלסטינים והן בתושבים ישראלים המתגוררים באזורים הסמוכים למפחמות. על-פי החלטת ממשלה הוקמה בשנת 2015 ועדה בין-משרדית (משרד החקלאות ופיתוח הכפר, משרד הבריאות, המשרד להגנת הסביבה, משרד הכלכלה והתעשייה, משרד האוצר וחברת החשמל) כדי להתמודד עם הבעיה. הוועדה המליצה על איסור העברת חומרי גלם (עץ) מישראל למפחמות הפלסטיניות ואיסור העברת פחמים מהרשות הפלסטינית לישראל⁽⁶⁾.

משרד הבריאות מקדם, בשיתוף המשרד להגנת הסביבה, משרד החינוך ומשרד העבודה, הרווחה והשירותים החברתיים, תוכנית להעלאת המודעות לאירועי זיהום אוויר חריגים ולתוצאיהם הבריאותיים בקרב מנהלי מוסדות חינוך ורווחה. המשרדים פועלים לשיפור העברת המידע אל מערכות החינוך והרווחה ובתוכן במקרים של אירועי זיהום אוויר חריגים⁽¹⁰⁾.

משרדי הבריאות והגנת הסביבה, בשיתוף ההתאחדות הישראלית לכדורגל, פרסמו בשנת 2016 הנחיות הנוגעות לביטול משחקי כדורגל מקצועניים וחצי-מקצועניים ואירועי ספורט תחרותיים בזמן אירועים של זיהום אוויר חריג.

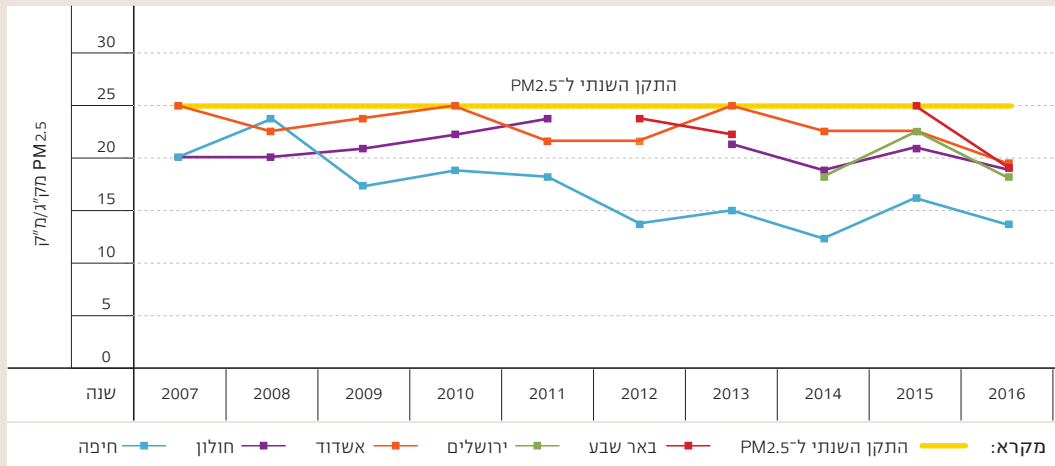
על-פי החלטה של המועצה הארצית לתכנון ולבנייה, שהתקבלה בשנת 2017, בפרויקטים של התחדשות עירונית המרחק המינימלי בין תחנות דלק קטנות (עד 4 עמדות תדלוק) ובין אתרים רגישים, לרבות בתי מגורים ובתי ספר, צומצם ל-20 מטרים.

נתונים על זיהום האוויר בישראל

נתונים של מרשם הפליטות לסביבה – מפל"ס, אשר פורסמו ב-2016, הראו הפחתה משמעותית בפליטות מדווחות של פחמן דו-חמצני, של תחמוצות חנקן, של גופרית דו-חמצנית, של חומר חלקיקי ושל תרכובות אורגניות נדיפות, להוציא מתאן (methane) בשנים 2012–2015; למשל, הפחתה של 34% בגופרית דו-חמצנית ובתחמוצות חנקן, ושל 14% בתרכובות אורגניות נדיפות שאינן מתאן (non-methane VOCs - NMVOC). הירידה הניכרת בגופרית דו-חמצנית נעוצה בשיפור איכות הדלק המשמש בישראל בשנים האחרונות ובעליית השימוש בגז טבעי לשם הפקת אנרגיה ובמתקני תעשייה אחדים. עם זאת, מאז 2012 יש עלייה קבועה בפליטות של מתאן, שהוא גז חממה פעיל⁽³⁾.

מדידות בתחנות ניטור מראות כי רמת ה-PM_{2.5} ירדה בעשור האחרון (תרשים 1). בשנת 2016 היו 466 מדידות שערכיהן חרגו מהתקן הסביבתי למוצע יומי של PM_{2.5}. רבות מהמדידות הללו נבעו מתנאים מטאורולוגיים שגרמו לפיזור אבק מינרלי ממדבריות בסביבה הגיאוגרפית של ישראל.

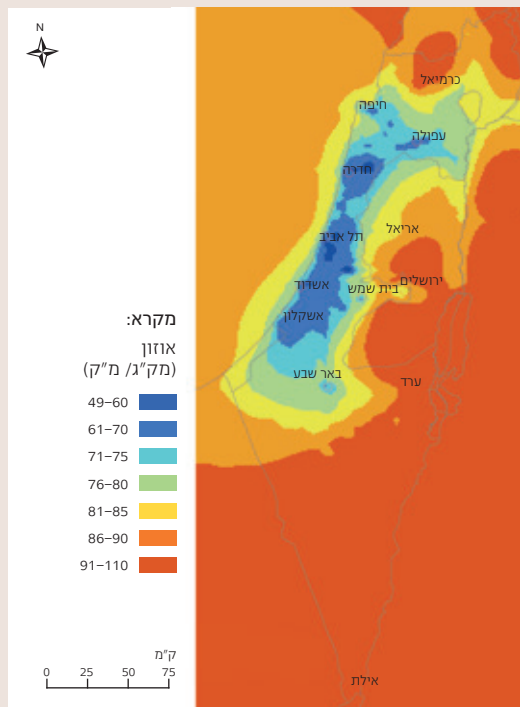
ריכוזים שנתיים של PM2.5 (מק"ג/מ"ק) - מגמות באזורים מייצגים, 2007-2016



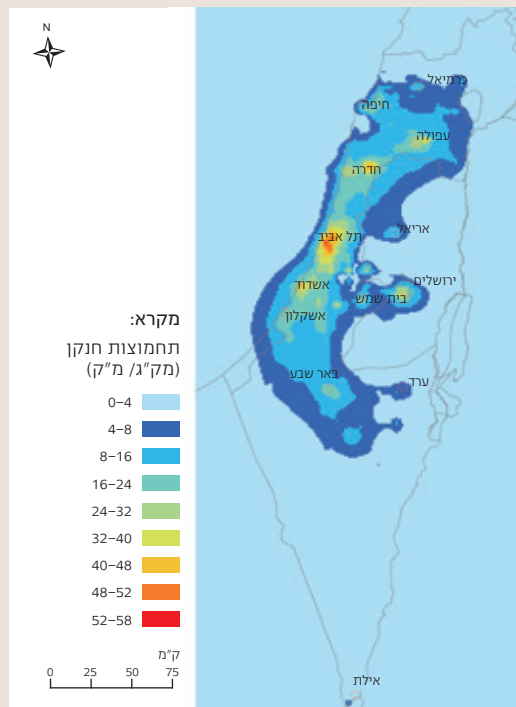
←
תרשים 1
מקור: המשרד
להגנת הסביבה

פליטת תחמוצות חנקן אמנם פחתה בשנים האחרונות, אך רמות גבוהות יחסית נמדדו בערים הגדולות (בעיקר בתל אביב) ובאזורים הסמוכים לתחנות כוח (חדרה, אשדוד ואלון התבור) (תרשים 2). רמות האוזון לא פחתו בשנים האחרונות. הריכוזים הגבוהים ביותר של אוזון נמדדו באזורים הרחוקים ממקורות פליטה, כגון יהודה, שומרון והגליל (תרשים 3).

ריכוזי אוזון בישראל, על בסיס מודלים משולבים של ניטור ואיכות אוויר, 2015



ריכוזי תחמוצות חנקן בישראל, על בסיס מודלים משולבים של ניטור ואיכות אוויר, 2015



←
מימין - תרשים 2
מקור: המשרד
להגנת הסביבה

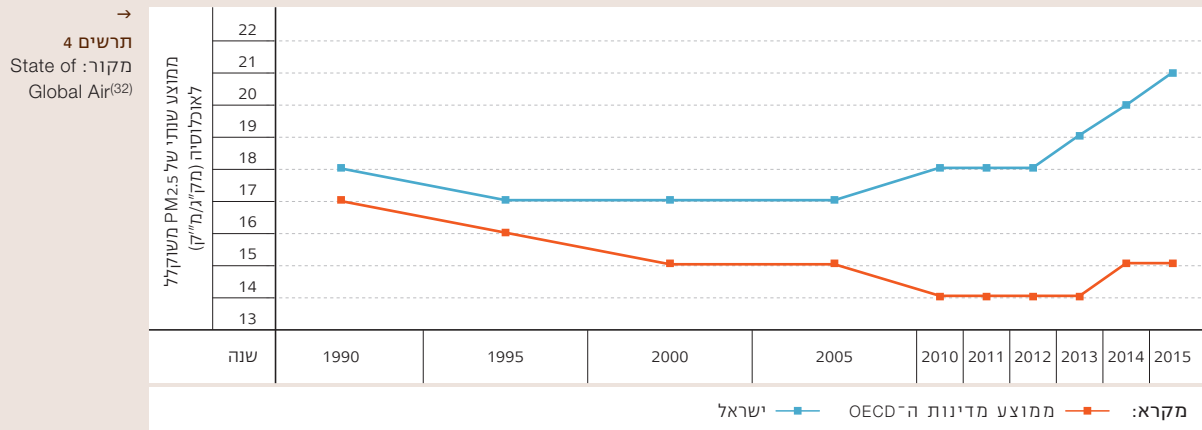
משמאל - תרשים 3
מקור: המשרד
להגנת הסביבה

חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) בנו בסיס נתונים של זיהום אוויר לשימוש קהילת החוקרים. בסיס הנתונים מכיל מגוון נתונים, כגון נתוני ניטור זיהום אוויר ונתונים מטאורולוגיים.

נתונים על נטל התחלואה והעלויות הקשורים בזיהום האוויר בישראל

על-פי מחקר "נטל התחלואה העולמי" (Global Burden of Disease), שיעור מקרי המוות המיוחסים לחשיפה ל-PM_{2.5} בישראל קטן בשנים 2000–2015 – משיעור של 29 ל-100,000 נפש בשנת 2000 לשיעור של 26.5 ל-100,000 נפש בשנת 2015⁽¹⁷⁾. עם זאת, המספר המוחלט של מקרי המוות גדל בשנים אלה מ-1,740 ל-2,133, בשל הגידול באוכלוסייה. על-פי בסיס נתונים זה, החשיפה ל-PM_{2.5}, כפי שנמדדה על סמך ריכוזים המשוקלים לאוכלוסייה, גדלה בישראל ב-25 השנים האחרונות, ובעשור האחרון היא גדולה מהעלייה הממוצעת במדינות הארגון לשיתוף פעולה ופיתוח כלכלי (Organization for Economic Co-operation and Development - OECD) (תרשים 4). עלייה זו חלה בשל העלייה בחשיפה באזורים מאוכלסים, והשוני מהעלייה הממוצעת ב-OECD נובע בחלקו מהתרכזות האוכלוסייה בישראל באזורים שבהם הזיהום גבוה יותר⁽³²⁾. יש לציין כי נתוני זיהום האוויר בבסיס הנתונים של נטל התחלואה העולמי מבוססים על מדידות קרקע ועל הערכות על סמך תצפיות לוויינים, וכי יש מקום לניתוחים נוספים בישראל.

חשיפה שנתית ממוצעת משוקלת לאוכלוסייה ל-PM_{2.5} בישראל וממוצע מדינות ה-OECD, 1990–2015



על-פי דוח מינהל הסביבה (Environment Directorate) של ה-OECD, שפורסם ב-2017, היו בישראל 2,240 מקרי מוות בשל זיהום אוויר בשנת 2015, ונרשמה עלייה כללית בשיעור התמותה עקב זיהום אוויר בין 2010 (238 למיליון נפש) ל-2015 (265 למיליון נפש). הדוח מעריך את עלות התמותה הנגרמת מזיהום אוויר בישראל ב-2015 ב-7.3 מיליארד דולרים⁽²⁷⁾.

חוקרים במשרד הבריאות ניתחו ב-2016 את הקשר בין חשיפה ל-PM_{2.5} ובין הסיכון למגוון רחב של תוצאי בריאות שליליים, ובכלל זה מחלות נשימה, מחלות לב וכלי דם, סרטן, סוכרת ומשקל לידה נמוך. החוקרים השתמשו במודל WIDE (הכולל התייחסות כוללנית ורחבה לפתולוגיות נשימתיות / של כלי דם) והעריכו שהחשיפה ל-PM_{2.5} ב-2015 הביאה ל-1,908 מקרי מוות, ל-348,039 ימי אשפוז ולעלות של 1.3 מיליארד דולרים (לוח 2)⁽¹⁶⁾.

מקרי מוות ואשפוזים עקב חשיפה ל-PM_{2.5} בישראל והעלויות הנלוות, 2015

הערכת עלויות / השפעות של PM _{2.5} על-פי מודל WIDE (באחוזים מן העלויות הכוללות)	מקרי מוות (מספר)
	1,908 (4.3%)
	348,039 (6.7%)
	\$318,918,656 (7.1%)
	\$1,027,757,036 (4.6%)

מחקר על זיהום אוויר בישראל (פורסם 2014-2017)

חשיפה

חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) ומהאוניברסיטה העברית בירושלים פיתחו שיטה לחיזוי זיהום אוויר בעזרת מודל סטטיסטי מסוג land use regression, והראו כי אפשר להעריך בעזרתו ריכוזים היסטוריים של תחמוצות חנקן שמקורן בכלי רכב על הכבישים משנת 1961 ועד 2011, גם בטרם היו מדידות זמינות⁽²³⁾.

בשנת 2016 הראו חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) שאפשר להשתמש באותות ממשדרי מערכות ניווט לווייניות (GPS) המותקנים על גבי כלי רכב כדי לייצג פליטות של כלי רכב, ולפתח מפות בעלות רזולוציית מרחב-זמן (spatiotemporal resolution) גבוהה מאוד של ריכוז מזהמי אוויר עיקריים, אשר יכולות לשמש להערכת חשיפה⁽¹²⁾.

חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) הראו ב-2017 ששימוש בכתובות המגורים בלבד – במחקרי חשיפה לזיהום אוויר – עלול להביא לשגיאה בהערכת מידת החשיפה, ושבנסיונות מסוימות חשוב להביא בחשבון גם יוממות^(30,31).

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב בחנו את הפריסה במרחב ובזמן של חומר חלקיקי בעת סופות אבק בדרום הארץ, בעיר באר שבע, והראו כי יש שינויים בריכוזי החלקיקים באזורים שונים בעיר וכי ריכוז החלקיקים גבוה יותר בחלקי העיר הקרובים יותר למקורות של אבק⁽²¹⁾.

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב, ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) ושותפים מאוניברסיטת הרווארד ומסוכנות החלל האמריקנית (National Aeronautics and Space Administration – NASA) פיתחו מודל להערכת זיהום אוויר (PM₁₀ ו-PM_{2.5}) על-ידי שימוש במודלים היברידיים שכוללים מידע מלוויינים⁽²⁰⁾.

תוצאים ביוכימיים

חוקרים ממכון ויצמן מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב הראו ב-2016 כי חשיפות חוזרות ונשנות ל-PM מביאות לדיכוי מנגנוני ההגנה של הריאות וגורמות לנזקי חמצון של ליפידים וחלבונים⁽²⁸⁾.

במחקר שהתפרסם ב-2016 הוכיחו חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב שחשיפה ל-PM₁₀ מעלה רמות של גלוקוז, המוגלובין A1c, ליפופרוטאין בעל צפיפות נמוכה (low-density lipoprotein) וטריגליצרידים בדם, ומורידה רמות של ליפופרוטאין בעל צפיפות גבוהה (high-density lipoprotein), בייחוד בקרב חולי סוכרת⁽³⁹⁾.

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב הראו ב-2015 שחשיפה לחנקן דו-חמצני ולגופרית דו-חמצנית קשורה לעלייה קטנה, אך מובהקת סטטיסטית, של רמות הגלוקוז בדם⁽⁴⁰⁾.

מחלות נשימה

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב מצאו בשנת 2014 כי הריכוזים היומיים של PM₁₀ היו גבוהים במידה קיצונית בימים של סופות אבק, וכי יש קשר חיובי בין סופות אבק ובין שיעור האשפוזים בגלל החמרה של מחלת ריאות חסימתית כרונית. ההשפעה גברה עם הגיל והייתה גבוהה יותר בקרב נשים. החוקרים הסיקו שחשיפה קצרת מועד ל-PM₁₀ ממקור טבעי בזמן סופות אבק מגבירה את הסיכון לאשפוז בגלל החמרה במחלת ריאות חסימתית כרונית⁽³³⁾.

חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים ומאוניברסיטת חיפה הראו ב־2015 שסופות חול מביאות לעלייה בריכוזי PM_{10} , וזו גורמת לעלייה במספר האשפוזים בבתי חולים בשל בעיות נשימה⁽¹⁴⁾.

חוקרים מהמרכז הרפואי תל אביב ע"ש סוראסקי הראו ב־2015 שיש מתאם בין חשיפה ל־ $PM_{0.1}$ ובין רמות גבוהות של תסמינים נשימתיים (כגון ריבוי אאיזונופילים בכיח) ושל דלקות בדרכי הנשימה אצל ילדים חולי אסתמה⁽¹¹⁾.

במאמר שפורסם ב־2015 הצביעו חוקרים מאוניברסיטת בן־גוריון בנגב על קשר בין סופות אבק בדרגה בינונית ובין הסתברות גבוהה לקניית תרופות לטיפול באסתמה. הסתברות גבוהה יותר לאשפוז נצפתה באוכלוסייה הכפרית של הבדואים בדרום הארץ⁽⁴²⁾.

במאמר שפורסם ב־2016 הראו חוקרים מאוניברסיטת בן־גוריון בנגב שחשיפה לחומר חלקיקי טבעי (למשל, בעקבות סופות אבק) הגדילה את הסיכון לאשפוז בגלל דלקת ריאות, בעיקר בקרב מטופלים מעל גיל 65 ובקרב חולי לב⁽³⁵⁾.

חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, מאוניברסיטת בן־גוריון בנגב ומשירותי בריאות כללית פרסמו ב־2015 מחקר ובו הראו כי מגורים בקרבת אזורי תעשייה שיש בהם פוטנציאל של סיכון עלולים להביא לידי אשפוזים בשל מחלות נשימה בילדות המוקדמת⁽²⁴⁾.

במאמר שפורסם ב־2015 ציינו חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים שילדות בנות 5–14 וילדים בני 0–4 נתונים בסיכון מוגבר לאשפוז בגלל מחלות נשימה עקב חשיפה לזיהום אוויר תחבורתי באזור המגורים. הממצאים מצביעים על קשרים אפשריים בין זיהום אוויר תחבורתי ובין אשפוז ילדות וילדים בקבוצות גיל שונות⁽²⁵⁾.

חוקרים באוניברסיטת חיפה פרסמו ב־2015 סקירת מחקרים בנושא תוצאים נשימתיים של זיהום אוויר בישראל. החוקרים מצאו תוצאות סותרות במחקרים השונים, בייחוד בעבודות שחקרו את הקשר בין PM_{10} לאסתמה, וייחסו את אי־ההתאמות האלו למתודולוגיות מחקר שונות ולסוגים שונים של נתונים⁽¹⁸⁾.

מחלות לב וכלי דם

חוקרים באוניברסיטת בן־גוריון בנגב פרסמו ב־2015 מאמר המראה כי חשיפה ל־ PM_{10} ול־ $PM_{2.5}$ קשורה לסיכון גבוה יותר לשבץ איסכמי אצל מבוגרים מתחת לגיל 55⁽⁴¹⁾.

חוקרים באוניברסיטת בן־גוריון בנגב הראו ב־2015 שחשיפה לחומר חלקיקי לא־אנתרופוגני קשורה לתחלואת לב וכלי דם, ושהקבוצות הרגישות ביותר היו נשים קשישות ובדואים. ממצאים אלו סיפקו ראיות לקשר בין זיהום אוויר (חנקן דו־חמצני), מזג האוויר וביקורים בחדרי מיון בשל כאבי ראש. החוקרים סבורים שעליות קצרות זמן בזיהום אוויר עלולות לעורר כאב ראש על־ידי מגוון מנגנונים, כגון עלייה בדלקות ריאות ובדלקות כלליות, הגברת קרישיות הדם ושינוי של הפעילות האנדותרלית^(34, 36).

סרטן

במאמר שפורסם ב־2017 הראו חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH), מהאוניברסיטה העברית בירושלים ומאוניברסיטת תל אביב שחשיפה כרונית לזיהום אוויר תחבורתי עלולה להיות גורם סיכון סביבתי לסרטן בקרב חולים שלקו באוטם שריר הלב. עלייה של 10 חלקים למיליארד (ppb) בחשיפה הממוצעת לתחמוצת חנקן נקשרה לסיכון מוגבר לסרטן, בעיקר לסרטן של הריאות, של שלפוחית השתן, של הכליות ושל הערמונית⁽¹³⁾.

היריון ותוצאי לידה

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב וממשרד הבריאות פרסמו ב-2016 ממצאים המראים קשר בין חשיפה תוך-רחמית לזיהום אוויר ובין שגשוגם של תאי דם טבורי. שגשוג נמוך של תאי דם טבורי נקשר לחשיפה לרמות סביבתיות של אוזון 1-4 ימים לפני הלידה, לחשיפה ל- $PM_{2.5}$ או ל- PM_{10} ברמות גבוהות מהרגיל 5-6 ימים לפני הלידה ולחשיפה לרמות של פחמן חד-חמצני (carbon monoxide) ביום הלידה ויום אחד לפני⁽²⁶⁾.

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב וממשרד הבריאות מצאו ב-2015, בקרב אוכלוסיית נשים בדואיות, שלחשיפה לחנקן דו-חמצני הייתה השפעה על מומים מולדים מינוריים, ואילו מומים מולדים חמורים נקשרו בעיקר לחשיפה למזהמים בסביבת בתי הנשים⁽²²⁾.

בשנת 2014 פורסם מחקר של חוקרים ממכון גרטנר לחקר אפידמיולוגיה ומדיניות בריאות, בשיתוף מכון ויצמן למדע ואוניברסיטת תל אביב, ובו צוין קשר אפשרי בין חשיפה לזיהום אוויר (PM_{10}) ותחמוצות חנקן) ובין הסיכון למומים מולדים, בעיקר במחזור הדם ובאיברי המין. כן זוהה תוצא שלילי אפשרי של חשיפה לגופרית דו-חמצנית ושל אוזון בהריונות שמקורם בטיפולי פוריות⁽¹⁵⁾.

תמותה

במחקר שפורסם ב-2017 נמצא שמעבר משימוש בפחם או בדלק עתיר-גופרית לשימוש בגז טבעי הביא לירידה בריכוזי גופרית דו-חמצנית ו- $PM_{2.5}$ בתל אביב, בחיפה ובאשדוד. בניתוח-על (meta-analysis) ששילב תוצאות משלוש הערים נמצאה ירידה מובהקת סטטיסטית באירועי לב וכלי דם (-13.3%) וירידה על סף המובהקות הסטטיסטית בתמותה הכללית (-19%) בעקבות המעבר לגז טבעי⁽³⁸⁾.

מחקר פעיל על זיהום אוויר בישראל: הערכת חשיפה ותוצאי בריאות

- במסגרת התוכנית הלאומית לצמצום זיהום האוויר במפרץ חיפה, הוחלט על מימון של מספר מחקרים אפידמיולוגיים. במחקרים אלו נכללת הקמת עוקבות לידה, ומחקרים אחרים יבחנו את הקשר בין זיהום אוויר לאסתמה ולסרטן בקרב מתגייסים לצבא, ואת העלויות הכרוכות בנטל התחלואה המיוחסת לזיהום אוויר.
- חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, מהטכניון, מחברת שחל ומהמרכז הרפואי רבין משתמשים בנתוני טלרפואה כדי להעריך את הקשרים בין אירועי לב וכלי דם אקוטיים ובין רמות של חומר חלקיקי באוויר (שנמדד בתחנות ניטור).
- חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, מרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) ואוניברסיטת בן-גוריון בנגב בוחנים את הקשר בין חשיפה למזהמי אוויר שונים במהלך ההיריון ובין הסיכון להפרעה על הרצף האוטיסטי.
- חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב בודקים את הקשר בין תוצאי היריון שליליים ובין חשיפה לאוזון בנגב, ואת הקשר בין חשיפת האם ל- PM_{10} ובין דלקות בדרכי הנשימה התחתונות של התינוק בשנת חייו הראשונה.
- חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) משתפים במאגד (קונסורציום) בין-לאומי העוסק בשימוש בחיישנים זעירים (אישיים) למדידת זיהום אוויר ובוחנים טכנולוגיה זו באזור חיפה.

- ♦ חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב בוחנים את הקשר בין חשיפה אישית וחשיפה בתוך מבנים לזיהום אוויר (PM_{2.5}, NO₂ ופחמן שחור) ובין רמות סוכר בדם בקרב אנשים בריאים ובקרב אנשים עם סוכרת מסוג 2.
- ♦ חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) וממשרד הבריאות בוחנים את הקשר בין חשיפה ל-PM ובין רמות של הורמוני תריס בילודים.
- ♦ חוקרים מאוניברסיטת תל אביב מפתחים שיטה שתאפשר להבדיל בין מקורות שונים ורמות שונות של זיהום אוויר באזורים עירוניים בעזרת טכניקות המשתמשות בלווייני חישה מרחוק (satellite remote sensing).
- ♦ חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון מפתחים מודל לניבוי יומי ברזולוציה גבוהה של טמפרטורה, שיאפשר להעריך בצורה מדויקת יותר את החשיפה גם באזורים עירוניים וגם באזורים כפריים. מודל זה ישמש, בשילוב עם מודל להערכת חשיפה ל-PM_{2.5}, לבחינת הקשר בין גורמים אלו ותוצאי לידה שונים שכוללים משקל לידה נמוך, לידה מוקדמת, ירידת מים מוקדמת, מומים מולדים ורעלת הריון.

התקדמות מאז 2014

האתגרים העיקריים אשר הוצגו בדוח "בריאות וסביבה בישראל 2014" בתחום איכות האוויר כללו את הצורך בעדכון ערכי היעד והתקנים של איכות האוויר, בפיתוח אסטרטגיה לדגימה קבועה של מזהמים שאינם מנטורים ברציפות, בצמצום ריכוזי PM₁₀ ואוזון באזורים מטרופוליניים, בשיפור הפיזור המרחבי של תחנות ניטור אוויר בישראל ובאינטגרציה של תכנון התחבורה ותכנון שימושי הקרקע.

בעדכון ערכי יעד ותקני איכות אוויר הושגה התקדמות משמעותית (עבור בנזן, 1,3-בוטדיאן, קדמיום, פורמלדהיד, כספית וטריכלורואתילן). הושגה התקדמות בכיסוי המרחבי של רשת תחנות הניטור של איכות האוויר ובהיקף המזהמים הנדגמים, בהוספת שמונה תחנות לניטור איכות אוויר מאז 2014 ובניטור שני מזהמים נוספים (פחמן שחור ו-PM₁₀) ב-2016. הושגה התקדמות מסוימת בהורדת ריכוזי PM₁₀, חנקן דו-חמצני וגופרית דו-חמצנית באוויר, וכן הייתה ירידה קלה בריכוזי PM_{2.5}. לא הושגה התקדמות בהפחתת ריכוזי האוזון באוויר. באינטגרציה של תכנון התחבורה ותכנון שימושי הקרקע הושגה רק התקדמות מעטה.

אתגרים עיקריים

בעשור האחרון חלה עלייה משמעותית בהיקף ובעומק של המחקר בתחום זיהום האוויר ותוצאיו הבריאותיים בישראל, מתוך שימת דגש על המאפיינים הייחודיים של זיהום האוויר בישראל. קיים צורך להשתמש בנתונים מהמחקרים האפידמיולוגיים הרבים הנערכים בישראל כדי לאמוד את נטל התחלואה מזיהום אוויר ואת העלויות הנלוות לו.

מחקר של זיהום אוויר חוצה גבולות וניטור שלו באמצעות טכניקות של ייחוס מקורות (source apportionment techniques) יספק הבנה טובה יותר של תרומתם היחסית של מקורות שונים ושל האמצעים המתאימים הנדרשים לצמצום הזיהום. בשל ריכוזי הרקע הגבוהים של מזהמי אוויר מסוימים, יש להניח שישראל לא תוכל להגיע לערכי היעד על-ידי תוכניות לאומיות (בגבולות ישראל) בלבד. טכניקות של ייחוס מקורות חיוניות גם לשם הערכת האמצעים לצמצום זיהום מקומי. ניתוח כלכלי של עלויות הזיהום הסביבתי בישראל שפורסם ב-2017 הצביע על שונות גיאוגרפית

במגזרים האחרים לעלויות זיהום האוויר העיקריות. במחוז חיפה, מגזר האנרגיה היה אחראי ל-75% מעלויות זיהום האוויר, ואילו במחוזות תל אביב וירושלים התחבורה הייתה המגזר הדומיננטי, האחראי ל-83% מהעלויות ול-71% מהעלויות, בהתאמה⁽⁴⁾.

בעקבות החלטת הממשלה משנת 2015, כונו מאמצים ומשאבים ניכרים לצמצום זיהום האוויר במפרץ חיפה. חשוב להגדיר עוד אזורים עירוניים כמופחתי פליטות בישראל ולהקטין את נטל התחלואה הקשורה לזיהום אוויר – לא רק ב"נקודות חמות" (hot spots) אלא גם באזורים שרמות זיהום האוויר בהם ממוצעות. יש צורך לשפר את שיטות ההערכה של רמות החשיפה לזיהום אוויר ולספק תחשיב מדויק יותר של נטל התחלואה ושל העלויות המיוחסות לטווח החשיפה הממשי של כל חלקי האוכלוסייה.

תחבורה היא מקור עיקרי של זיהום אוויר, אולם מעט מדי משאבים מושקעים בתחבורה הציבורית. מספר המכוניות הנרכשות מדי שנה בישראל מוסיף לעלות (על-פי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, בשנת 2017 נרכשו בישראל 272,000 כלי רכב פרטיים). יש צורך להגדיל את ההשקעות בתחבורה ציבורית ולאמץ אמצעים חדשניים לצמצום תנועת כלי הרכב, למשל – ביצירת תשתית חברתית לשיתוף מכוניות (car sharing). אין ספק שהקטנת תנועת כלי הרכב והקטנת מספר כלי הרכב בבעלות פרטית יתרמו לשיפור איכות האוויר. "התוכנית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה", שאושרה בשנת 2016, מתוקצבת ב-260 מיליון ש"ח, והיא צפויה לקדם סוגיה זו ב-2017–2018.

בשנים האחרונות חלה בישראל הפחתה ניכרת של פליטות מזהמי אוויר, אולם עדיין יש בכל שנה יותר מ-2,000 מקרי מוות המיוחסים לזיהום האוויר⁽²⁷⁾. העלויות הכרוכות בזיהום אוויר מגיעות ליותר מ-7 מיליארד דולר בשנה. בשנת 2013 אישרה הממשלה "תוכנית לאומית למניעה ולצמצום של זיהום האוויר בישראל", אך התוכנית תוקצבה רק בחלקה. חלקים אחדים של התוכנית אמנם יושמו במלואם (למשל, עידוד השימוש בתחבורה ציבורית במקומות עבודה וכימות של חלקיקים נשימים ממחצבות), אך חלקים מרכזיים אחרים עדיין ממתנינים ליישומם (למשל, גריטה של מכוניות פרטיות ישנות, קידום רכישה של אוטובוסים מונעי גז טבעי ושימוש בהם ומיסוי דיפרנציאלי של דלקים)⁽¹⁾. ניתוח נטל התחלואה בישראל והעלויות הכרוכות בו עשוי לתרום להתוויית קווים מנחים בקרב קובעי המדיניות ומקבלי החלטות – לשם הקצאה מיטבית של תקציבים לצמצום זיהום אוויר⁽²⁹⁾.

- (1) המרכז להעצמת האזרח (2017). דו"ח מעקב. תכנית לאומית למניעה ולצמצום זיהום אוויר בישראל. <http://www.ceci.org.il/sites/citizens/UserContent/files/Pollution.pdf> (אוחזר ביולי 2017).
- (2) המשרד להגנת הסביבה (2015). מסמך רקע לעדכון ערכי איכות אוויר. <http://www.sviva.gov.il/subjectsenv/svivaair/laws/documents/air-quality-values%2021-12-15.pdf> (אוחזר בספטמבר 2017).
- (3) המשרד להגנת הסביבה (2016). מפלס - מרשם הפליטות לסביבה - סיכום וניתוח דיווחי 2015. http://www.sviva.gov.il/PRTRIsrael/Documents/2015/miflas_2015%20final.pdf (אוחזר בספטמבר 2017).
- (4) המשרד להגנת הסביבה (2017). מסד נתונים כלכלי-סביבתי, מרץ 2017. <https://www.green.org.il/wp-content/uploads/2017/06/%D7%93%D7%95%D7%97-%D7%A1%D7%95%D7%A4%D7%99-%D7%9E%D7%A1%D7%93-%D7%A0%D7%AA%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%9D-%D7%9B%D7%9C%D7%9B%D7%9C%D7%99-%D7%A1%D7%91%D7%99%D7%91%D7%AA%D7%99-%D7%9E%D7%A8%D7%A5-2017.pdf> (אוחזר ביולי 2017).
- (5) המשרד להגנת הסביבה (עודכן בינואר 2017). הפחתת הזיהום מתחבורה במפרץ חיפה. <http://www.sviva.gov.il/YourEnv/CountyHaifa/HaifaBay/Pages/transportation-HaifaBay.aspx> (אוחזר ביולי 2017).
- (6) המשרד להגנת הסביבה (עודכן בנובמבר 2016). לראשונה: פעילות בשטח B כנגד המפחמות הפלסטיניות - הוחרמו 160 טון של גמי עצים. <http://www.sviva.gov.il/infoservices/newsandevents/messagedoverandnews/pages/2016/november2016/enforcement-char-coal-kiln.aspx> (אוחזר ביולי 2017).
- (7) המשרד להגנת הסביבה (עודכן בספטמבר 2015). מזהמי אוויר נפוצים והשפעתם על הבריאות. <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/PollutantHealth/Pages/default.aspx> (אוחזר בספטמבר 2017).
- (8) המשרד להגנת הסביבה. תכנית הפעולה הלאומית לאזור מפרץ חיפה. חיפה - העיר הראשונה בישראל עם "אזור אוויר נקי". <http://www.sviva.gov.il/yourenv/countyhaifa/haifabay/documents/haifabayplan/haifabay-actionplan-brochure2015.pdf> (אוחזר ביולי 2017).
- (9) המשרד להגנת הסביבה (עודכן ביוני 2017). תכנית הפעולה הלאומית למפרץ חיפה. <http://www.sviva.gov.il/YourEnv/CountyHaifa/HaifaBay/Haifa-Bay-National-Plan/Pages/haifabayactionplan2015.aspx> (אוחזר ביולי 2017).
- (10) משרד הבריאות, משרד החינוך והמשרד להגנת הסביבה. היערכות מערכת החינוך לאירועי זיהום אוויר חריג. <http://meyda.education.gov.il/files/Bitachon/eiarchutmarechethachinuch.pdf> (אוחזר בספטמבר 2017).
- (11) Benor, S., Alcalay, Y., Domany, K. A., Gut, G., Soferman, R., Kivity, S., & Fireman, E. (2015). Ultrafine particle content in exhaled breath condensate in airways of asthmatic children. *Journal of Breath Research*, 9(2), 026001. <https://doi.org/10.1088/1752-7155/9/2/026001>
- (12) Chen, S., Bekhor, S., Yuval, & Broday, D. M. (2016). Aggregated GPS tracking of vehicles and its use as a proxy of traffic-related air pollution emissions. *Atmospheric Environment*, 142, 351-359. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.015>
- (13) Cohen, G., Levy, I., Yuval, Kark, J. D., Levin, N., Broday, D. M., ...Gerber, Y. (2017). Long-term exposure to traffic-related air pollution and cancer among survivors of myocardial infarction: A 20-year follow-up study. *European Journal of Preventive Cardiology*, 24(1), 92-102. <https://doi.org/10.1177/2047487316669415>
- (14) Ebenstein, A., Frank, E., & Reingewertz, Y. (2015). Particulate matter concentrations, sandstorms and respiratory hospital admissions in Israel. *Israel Medical Association Journal*, 17(10), 628-632.
- (15) Farhi, A., Boyko, V., Almagor, J., Benenson, I., Segre, E., Rudich, Y., ...Lerner-Geva, L. (2014). The possible association between exposure to air pollution and the risk for congenital malformations. *Environmental Research*, 135, 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.08.024>

- (16) Ginsberg, G. M., Kaliner, E., & Grotto, I. (2016). Mortality, hospital days and expenditures attributable to ambient air pollution from particulate matter in Israel. *Israel Journal of Health Policy Research*, 5, 51. <https://doi.org/10.1186/s13584-016-0110-7>
- (17) Global Health Data Exchange (GHDx). GBD results tool. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (retrieved June 2017).
- (18) Greenberg, N., Carel, R., & Portnov, B. A. (2015). Air pollution and respiratory morbidity in Israel: A review of accumulated empiric evidence. *Israel Medical Association Journal*, 17(7), 445-450.
- (19) International Agency for Research on Cancer, World Health Organization (2015). Outdoor air pollution / IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *Outdoor Air Pollution*, 109 (retrieved October, 2017).
- (20) Kloog, I., Sorek-Hamer, M., Lyapustin, A., Coull, B., Wang, Y., Just, A. C., Schwartz, J., & Broday, D. M. (2015). Estimating daily PM_{2.5} and PM₁₀ across the complex geo-climate region of Israel using MAIAC satellite-based AOD data. *Atmospheric Environment*, 122, 409-416. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.10.004
- (21) Krasnov, H., Kloog, I., Friger, M., & Katra, I. (2016). The spatio-temporal distribution of particulate matter during natural dust episodes at an urban scale. *PLoS One*, 11(8), e0160800. doi: 10.1371/journal.pone.0160800
- (22) Landau, D., Novack, L., Yitshak-Sade, M., Sarov, B., Kloog, I., Hershkovitz, R., ...Karakis, I. (2015). Nitrogen dioxide pollution and hazardous household environment: What impacts more congenital malformations. *Chemosphere*, 139, 340-378. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.091>
- (23) Levy, I., Levin, N., Yuval, Schwartz, J. D., & Kark, J. D. (2015). Back-extrapolating a land use regression model for estimating past exposures to traffic-related air pollution. *Environmental Science and Technology*, 49(6), 3603-3610. <https://doi.org/10.1021/es505707e>
- (24) Nirel, R., Maimon, N., Fireman, E., Agami, S., Eyal, A., & Peretz, A. (2015). Respiratory hospitalizations of children living near a hazardous industrial site adjusted for prevalent dust: A case-control study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218(2), 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.12.003>
- (25) Nirel, R., Schiff, M., & Paltiel, O. (2015). Respiratory hospitalizations of children and residential exposure to traffic air pollution in Jerusalem. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218(1), 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.07.003>
- (26) Novack, L., Yitshak-Sade, M., Landau, D., Kloog, I., Sarov, B., & Karakis, I. (2016). Association between ambient air pollution and proliferation of umbilical cord blood cells. *Environmental Research*, 151, 783-788. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.009>
- (27) OECD Environment Directorate (2017). *The rising cost of ambient air pollution in the 21st century. Results for the BRIICS and the OECD countries.*
- (28) Pardo, M., Porat, Z., Rudich, A., Schauer, J. J., & Rudich, Y. (2016). Repeated exposures to roadside particulate matter extracts suppresses pulmonary defense mechanisms, resulting in lipid and protein oxidative damage. *Environmental Pollution*, 210, 227-237. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.009>
- (29) Samet, J. M. (2016). The burden of disease from air pollution in Israel: How do we use burden estimates to advance public health? *Israel Journal of Health Policy Research*, 5, 63. <https://doi.org/10.1186/s13584-016-0120-5>
- (30) Shafran-Nathan, R., Levy, I., Levin, N., & Broday, D. M. (2017). Ecological bias in environmental health studies: The problem of aggregation of multiple data sources. *Air Quality Atmosphere & Health*, 10(4), 411-420. <https://doi.org/10.1007/s11869-016-0436-x>
- (31) Shafran-Nathan, R., Yuval, Levy, I., & Broday, D. M. (2017). Exposure estimation errors to nitrogen oxides on a population scale due to daytime activity away from home. *Science of the Total Environment*, 580, 1401-1409. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.105>

- (32) State of Global Air 2017 <https://www.stateofglobalair.org/> (retrieved September 2017).
- (33) Vodonos, A., Friger, M., Katra, I., Avnon, L., Krasnov, H., Koutrakis, P., ...Novack, V. (2014). The impact of desert dust exposures on hospitalizations due to exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 7(4), 433-439. <https://doi.org/10.1007/s11869-014-0253-z>
- (34) Vodonos, A., Friger, M., Katra, I., Krasnov, H., Zahger, D., Schwartz, J., & Novack, V. (2015). Individual effect modifiers of dust exposure effect on cardiovascular morbidity. *PLoS One*, 10(9), e0137714. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137714>
- (35) Vodonos, A., Kloog, I., Boehm, L., & Novack, V. (2016). The impact of exposure to particulate air pollution from non-anthropogenic sources on hospital admissions due to pneumonia. *European Respiratory Journal*, 48(6), 1791-1794. <https://doi.org/10.1183/13993003.01104-2016>
- (36) Vodonos, A., Novack, V., Zlotnik, Y., & Ifergane, G. (2015). Ambient air pollution, weather and daily emergency department visits for headache. *Cephalalgia*, 35(12), 1085-1091. <https://doi.org/10.1177/0333102415570300>
- (37) World Health Organization (2000). *Air quality guidelines for Europe. Second Edition*. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf (retrieved June 2017).
- (38) Yinon, L., & Thurston, G. (2017). An evaluation of the health benefits achieved at the time of an air quality intervention in three Israeli cities. *Environment International*, 102, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.025>
- (39) Yitshak Sade, M., Kloog, I., Liberty, I., Schwartz, J., & Novack, V. (2016). The association between air pollution exposure and glucose and lipids levels. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 101(6), 2460-2467. <https://doi.org/10.1210/jc.2016-1378>
- (40) Yitshak-Sade, M., Kloog, I., Liberty, I. F., Katra, I., Novack, L., & Novack, V. (2015). Air pollution and serum glucose levels: A population-based study. *Medicine (Baltimore)*, 94(27), e1093. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000001093>
- (41) Yitshak-Sade, M., Novack, V., Ifergane, G., Horev, A., & Kloog, I. (2015). Air pollution and ischemic stroke among young adults. *Stroke*, 46(12), 3348-3353. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.010992>
- (42) Yitshak-Sade, M., Novack, V., Katra, I., Gorodischer, R., Tal, A., & Novack, L. (2015). Non-anthropogenic dust exposure and asthma medication purchase in children. *European Respiratory Journal*, 45(3), 652-660. <https://doi.org/10.1183/09031936.00078614>