

איכות אוויר הפנים

איכות אוויר הפנים (indoor air quality - IAQ) היא איכות האוויר בתוך סביבות סגורות, כגון מבנים וסביבותיהם, לרבות בתים פרטיים, משרדים, מבנים ציבוריים כבתי ספר ובתי חולים וכן מערכות להסעת המונים. איכות ירודה של אוויר הפנים עלולה לפגוע בבריאות הדיירים או העובדים במבנה ובסביבותיו. מזהמי אוויר פנים כוללים גזים רעילים כגון פחמן חד-חמצני (carbon monoxide) ותחמוצות חנקן (nitrogen oxides), רדון (radon), תרכובות אורגניות נדיפות (volatile organic compounds - VOCs) כגון פורמלדהיד (formaldehyde), בנזן (benzene), טולואן (toluene) וסטירן (styrene), חלקיקים נשימים (particulate matter - PM), תוצרי בעירה, חומרי הדברה, מעכבי בעירה נדיפים, עשן טבק (מיד שנייה ושלישית), מזהמים ביולוגיים כגון עובש וחיידקים, ומזהמים אחרים כגון סיבי אסבסט. בישול וחימום ביתיים בדלק ביולוגי הם מקורות פוטנציאליים מרכזיים לזיהום אוויר הפנים. איכות אוויר הפנים מושפעת בעיקר משלושה גורמים: (א) מקורות פנים-מבניים של מזהמים ושל חומרים, (ב) איכות האוויר החיצוני הנכנס לבניין, (ג) קצב חילוף האוויר בין פנים המבנה ובין הסביבה החיצונית.

איכות ירודה של אוויר פנים נקשרת לתוצאי בריאות קצרי טווח, כגון דלקות של דרכי הנשימה העליונות והתחתונות, תגובות אלרגיות, גירוי של העיניים, של האף ושל הגרון, כאבי ראש, סחרחורת ובעיות בתפקוד הקוגניטיבי. נמצא קשר גם לתוצאי בריאות ארוכי טווח, כגון מחלות נשימתיות (אסתמה, מחלת ריאות חסימתית כרונית), וברונכיט, מחלות לב וסרטן. חשיפתם של ילדים קטנים לאיכות ירודה של אוויר פנים קשורה בסיכון מוגבר לדלקת ריאות ולשפעת.

מדיניות ורגולציה

"חוק אוויר נקי" התשס"ח – 2008 אינו מתייחס באופן פרטני לאוויר פנים. מרבית התקנות הנוגעות לאוויר פנים (רדון, דרישות אוורור) מפורטות בתקנות התכנון והבנייה.

בהתבסס על חששות הנוגעים לחדירת אדים של חומרים אורגנו-כלורייניים (chlorinated organic compounds) מקרקע מזוהמת, פרסם המשרד להגנת הסביבה בשנת 2016 המלצות למניעה ולמדידה של זיהום אוויר פנים הנובע מחדירת אדי קרקע⁽²⁾.

בשנת 2015 ביצע משרד הבריאות מיפוי של הסיכונים העיקריים הדורשים התייחסות מיוחדת בישראל, בהקשר של אוויר פנים, לדוגמה – חשיפת האוכלוסייה הבדואית לתוצרי בעירה עקב שריפה ביתית של ביומסה וכן חשיפה לרדון. ב-2017 פרסמו חוקרי משרד הבריאות נייר עמדה הנוגע להשלכות הבריאותיות של שהייה בבתי ספר ובגני ילדים השוכנים בבניינים רב־קומות. נקבע כי יש לייחד תשומת לב לאיכות אוויר הפנים בעת תכנון ובנייה של מוסדות חינוך במבנים רב־קומות⁽¹⁾.

תקנות התכנון והבנייה, שאושרו ב־1970 ועודכנו ב־2008, דורשות שבניינים יתוכננו וייבנו באופן שימנע הצטברות רדון ברמות גבוהות. התקנות קובעות גם רמות מרביות מותרות של רדון בתוך בניינים. ריכוז הרדון המרבי המותר בבתי מגורים בישראל הוא 200 בקרל/מ³ – ערך גבוה מהריכוז שנקבע על ידי הסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה (US Environmental Protection Agency – US EPA), שהוא 148 בקרל/מ³ בקירוב⁽⁴⁾.

תקן ישראלי 5281, שהוא תקן בלתי מחייב לבנייה ירוקה, מתייחס לבנייה בת־קיימה ומטפל בסוגיות הקשורות לאוורור, לשימוש בחומרי גלם אשר אינם פולטים רעלים ולאיכות האוויר הנכנס לבניין. התקן עודכן ב־2016 והוא עוסק היום בצמצום פליטת תרכובות אורגניות נדיפות וצמצום פליטת רדיואקטיביות מחומרי בניין. יצוין כי בעקבות דרישה של משרד הבריאות הוסרה מהתקן המלצה להתקין יוניזטורים של אוויר, בשל היעדר מחקרים מדעיים מבוססים התומכים בתרומתם של יוניזטורים של אוויר לשיפור איכות אוויר הפנים.

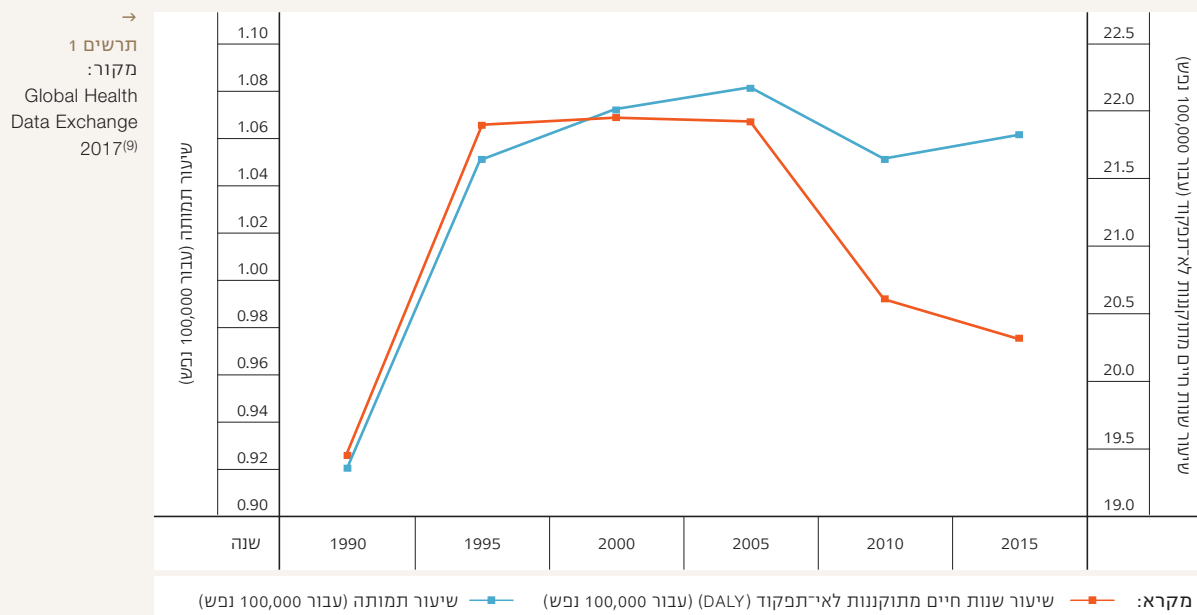
תקן ישראלי 6210 משנת 2011, "אוורור לשמירת איכות אוויר נאותה בתוך בניינים", המבוסס על תקן אמריקני משנת 2010, מגדיר ערכים מותרים למזהמים מסוימים באוויר הפנים (ובכלל זה גופרית דו־חמצנית [sulfur dioxide], חנקן דו־חמצני [nitrogen dioxide], פחמן חד־חמצני, חומר חלקיקי שקוטרו עד 10 מיקרון [PM₁₀] ובנוזל). התקן אומץ על־ידי המועצה הארצית לתכנון ולבנייה כחלק מתקנות התכנון והבנייה המחייבות, והוא ממתין לאישור משרד המשפטים.

נתונים על איכות אוויר הפנים בישראל

במחקר שנערך על־ידי המשרד להגנת הסביבה וחוקרים מהמכללה האקדמית הדסה ירושלים נותחו נתונים מ־8,624 מדידות של רדון שנעשו בין 1991 ל־2012. שיעור החדרים שבהם נמדדו ריכוזי רדון גבוהים מהריכוז המרבי המותר בבתי מגורים בישראל (200 בקרל/מ³) היה בין 10% – באזורים גיאוגרפיים בישראל שיש בהם נטייה להימצאות רדון – ל־6% באזורים שאין בהם נטייה להימצאות רדון. יש לציין שבין 1997 ל־2012 חלה עלייה קבועה בריכוזי הרדון. הריכוזים הגבוהים ביותר נמצאו, כצפוי, באזורים שיש בהם נטייה להימצאות רדון וכן במרחבים מוגנים (ממ"דים, בעלי קירות בטון עבים) ובחדרים בקומת הקרקע⁽¹⁾.

על-פי מחקר "נטל התחלואה העולמי" (Global Burden of Disease), שיעורי התמותה ושיעורי "שנות חיים מתוקנות לאי-תפקוד" (Disability Adjusted Life Years - DALY) בגלל נוכחות רדון בבתי מגורים עלו עלייה דרמטית בין 1990 ל-2005, וירדו בעשור האחרון (תרשים 1)⁽⁹⁾.

שיעורי תמותה ושנות חיים מתוקנות לאי-תפקוד (DALY) בעקבות חשיפה לרדון במבני מגורים בישראל, 1990-2015



עקב חשש מפני זיהום אוויר חריג ברציפי תחנת האוטובוסים המרכזית בירושלים, המשרד להגנת הסביבה מקיים ניטור רציף של רמות מזהמי אוויר קריטריוניים. התוצאות מצביעות על רמות חנקן דו-חמצני גבוהות מערכי ההתרעה ועל ריכוזים גבוהים לטווח קצר של $PM_{2.5}$.

המשרד להגנת הסביבה מפרסם נתוני ניטור של $PM_{2.5}$, של חנקן דו-חמצני ושל תחמוצות חנקן מתחנות ניטור בכמה תחנות אוטובוסים מרכזיות (תחנת האוטובוסים המרכזית בירושלים, תחנת האוטובוסים המרכזית בתל אביב) ובכמה תחנות רכבת, בעיקר במרכז המדינה. מחודש דצמבר 2014 ועד פברואר 2015 ניטר המשרד להגנת הסביבה 49 חריגות של $PM_{2.5}$ (82% מפרק הזמן שבו נעשו המדידות), 454 חריגות של חנקן דו-חמצני (42% מפרק הזמן שבו נעשו המדידות) ו-1,189 חריגות של תחמוצות חנקן (מדי חצי שעה, 42% מפרק הזמן שבו נעשו המדידות) ברציף 1 של תחנת הרכבת "השלום", ככל הנראה בשל פליטות מהרכבת וכן בשל קרבתו של הרציף לנתיבי איילון⁽⁶⁾. מחודש מרץ 2016 ועד יוני 2016 התבצע ניטור של $PM_{2.5}$, של חנקן דו-חמצני ושל תחמוצות חנקן בתחנות הרכבת "השלום" ו"יוספטל". זוהו 55 ו-44 חריגות של $PM_{2.5}$, בהתאמה (ב"השלום" – ב-51% מפרק הזמן שבו נעשו המדידות וב"יוספטל" – ב-57% מפרק הזמן שבו נעשו המדידות). דווחו חריגות רבות של תחמוצות חנקן (חצי-שעתי) ושל חנקן דו-חמצני. יצוין כי הנתונים מוצגים בהשוואה לערכי איכות אוויר⁽³⁾.

חוקרים בטכניון ערכו מדידות של זיהום אוויר והעריכו את חשיפתם של נוסעים לזיהום האוויר בכמה מקומות: (א) בתחנה המרכזית בירושלים ובאוטובוסים היוצאים ממנה, (ב) בתחנת הרכבת "השלום" בתל אביב וברכבות היוצאות ממנה. ריכוזים ממוצעים גבוהים במידה קיצונית של חלקיקים נשימים זעירים (ultrafine particles - UFP) (ערכים שהגיעו עד 1.9×10^5 בס"מ³) נמדדו ברציפי תחנת הרכבת "השלום" בשעות השיא. ריכוזים ממוצעים נמוכים של חלקיקים נשימים זעירים (מתחת ל- 1.5×10^4 בס"מ³) נמדדו באוטובוסים בין-עירוניים בקו ירושלים-חיפה.

מחקר על איכות אוויר הפנים בישראל

רדון

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב ומהמרכז למחקר גרעיני שורק מצאו שהריכוז הממוצע של רדון בדירות בבניינים חדשים היה גבוה באופן מובהק סטטיסטית מהריכוז בבניינים ישנים, והריכוז הממוצע של רדון בבתים חד-משפחתיים היה גבוה באופן מובהק סטטיסטית מבדירות בבתי קומות. רמות רדון גבוהות בבניינים חדשים קשורות ככל הנראה לתקנות המורות על בנייה של מרחבים מוגנים, שנכנסו לתוקף בשנות התשעים של המאה העשרים. במרחבים מוגנים קירות הבטון עבים במיוחד, והרצפה והתקרה ניתנות לאטימה הרמטית. החוקרים עשו שימוש במודל המביא בחשבון את הריכוזים של הרדיונוקלידים הטבעיים (natural radionuclides) בחומרי הבניין, את צפיפות הקירות ואת עוביים. בחישוב עלה שהחשיפה השנתית הכללית של אוכלוסיית ישראל למקורות טבעיים של קרינה מייננת היא 2 מיליסיוורט (mSv), וטווח המדידות היה בין 1.7–2.7 מיליסיוורט^(7,8).

במחקר שנעשה בטכניון נותחו תוצאותיהן של בדיקות קרינה טבעית בבטון המיוצר בישראל, שכללו 109 תערובות בטון שיוצרו באופן מסחרי בשנים 2012–2014. הריכוזים הממוצעים של רדון היו דומים לערכים שנמצאו בארצות הים התיכון כגון יוון, ספרד ואיטליה. נוסף על כך, הערך הממוצע של מקדם הפליטה של בטון המכיל אפר פחם מרחף (coal fly ash) היה נמוך מהערך של תערובות בטון ללא אפר פחם מרחף⁽¹⁰⁾.

הבערת ביומסה בתוך מבנים

חוקרים מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב וממשרד הבריאות מצאו שהשימוש באש פתוחה לבישול היה נפוץ מאוד בקרב נשים בדואיות בדרומה של ישראל, והיה שכיח יותר בקרב נשים שהתגוררו ביישובים ארעיים⁽¹²⁾.

מעכבי בעירה

קבוצת מחקר במרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) חוקרת הימצאות מעכבי בעירה באבק המצטבר בתוך מכוניות. תוצאות ראשוניות מראות שדיפניל אתרים רב-מוברמים (polybrominated diphenyl ethers - PBDEs) זהו ברוב הדגימות, ולא זוהה קשר ברור ליצרן הרכב, לדגם או לשנה. רמות של PBDEs שנמצאו באבק מכוניות היו גבוהות יותר בקיץ מהרמות שנמצאו בחורף. נמצא שבאקלים הים-תיכוני עשויים כלי רכב להוות מיקרו-סביבות משמעותיות לחשיפה ל-PBDEs. החוקרים עוסקים היום בחקירת הימצאותם של מעכבי בעירה במזרנים כולל מעכבי בעירה מבוססי זרחן.

קשרי גומלין בין זיהום אוויר פנים לזיהום אוויר חוץ

חוקרים באוניברסיטת בן-גוריון בנגב בשיתוף חוקרי מרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) בודקים קשרים בין זיהום אוויר פנים לזיהום אוויר חוץ ואת תוצאה הבריאותיים, בפרקי זמן שונים ביום ובעונות שונות. המחקר מתבצע ברשויות המקומיות במחוז חיפה.

חוקרים באוניברסיטה העברית בירושלים ובטכניון מודדים ריכוזי PM במדידות אוויר חוץ ואוויר פנים בעיר אלעד, הסמוכה למחצבה פעילה שהיקף החציבה בה גבוה. מדידות רציפות נערכות במשך שנה אחת בבתים פרטיים ובבתי ספר באזור הסמוך וכן במקומות אחרים בישראל, לשם השוואה.

איכות אוויר הפנים ותוצאים בריאותיים שליליים

חוקרים באוניברסיטת בן-גוריון בנגב בודקים את ההשפעה של החשיפה לזיהום אוויר פנים על סוכרת מסוג 2. ההשפעה תיבחן בקרב קבוצת נשים הרות המתגוררות בחיפה ובקרב קבוצת נשים הרות המתגוררות בבאר שבע.

האתגרים העיקריים בתחום איכות אוויר הפנים שעלו בדוח "בריאות וסביבה בישראל 2014" כוללים שיתוף פעולה בין המשרד להגנת הסביבה, משרד הבריאות ומשרד החינוך במחקר חלוץ בבתי ספר ובמחקר בנוגע לאבק ביתי. בעוד שלא הושגה התקדמות במחקר החלוץ בבתי הספר, הושגה התקדמות מעטה בלבד במחקר בנושא אבק ביתי.

אתגרים עיקריים

היבטים אחדים של איכות אוויר הפנים מטופלים על-ידי המשרד להגנת הסביבה (חדירת גזי קרקע) ומכון התקנים (תקן בנייה ירוקה, תקנים לפליטת פורמלדהיד מעץ, תקנים בתהליך אישור למעכבי בעירה במזרנים). כמו כן יש בישראל תקני בנייה מחייבים בנוגע לרדון הכוללים דרישות אוורור מבנים. עם זאת, אין רשות מרכזית המטפלת באיכות אוויר פנים. התוצאה היא שהטיפול באיכות אוויר הפנים אינו מתועדף, ותקציבי הממשלה למחקר ולמעקב בתחום זה מוגבלים. יש נתונים מעטים ומוגבלים על השפעתם של מוצרי צריכה ומרכיביהם, כגון תרכובות אורגניות נדיפות המשמשות בייצור מזרנים, מוצרי ניקיון וצבעים, על איכות אוויר הפנים.

איכות אוויר הפנים היא נושא מאתגר למחקר, בשל המגוון הרחב של גורמים הכלולים בו, כגון חומרים שנעשה בהם שימוש בתוך מבנים, פעילויות פנים, מערכות אוורור ואיכות האוויר בסביבה. יש פערי ידע ניכרים בדבר השפעות בריאותיות של איכות אוויר הפנים, ובכלל זה השפעות בקרב אוכלוסיות רגישות והקשר בין זיהום אוויר לאיכות אוויר הפנים. מאחר שאיכות אוויר הפנים תלויה באקלים ובתרבות, יש צורך במחקר מקומי שיתמקד באיכות אוויר הפנים בישראל.

בעירה בתוך הבית, בעיקר בישול על אש גלויה בתוך חלל המגורים וכיריים המוסקות בעץ או בפחם, משפיעה במידה ניכרת על איכות אוויר הפנים. בישול ביתי על כיריים של גז בחללים קטנים שאינם מאווררים עלול להביא לריכוזים גבוהים של תחמוצות חנקן. בשנת 2016 פרסם משרד הבריאות כרזת הסברה על איכות אוויר הפנים וזיהום בפחמן חד-חמצני⁽⁵⁾, אך המודעות לתוצאי הבריאות של בעירה בתוך הבית ולחשיבות איכותו של אוויר הפנים עדיין נמוכה. יש צורך לגבש ולפרסם המלצות ברורות לציבור, מבוססות מדעית, על דרכים לצמצום החשיפה למזהמי פנים.

נתונים מעודכנים מצביעים על רמות רדון גבוהות יותר במבני מגורים חדשים עם מרחבים מוגנים. המשרד להגנת הסביבה, בשיתוף משרד הבריאות, חוקר את התוצאים הבריאותיים של קרינה עקב השימוש באפר פחם מרחף בבטון המשמש לבניית מרחבים מוגנים במגורים.

מקורות

- (1) ברנט-יצחקי, ז', קרקיס, א' וגרוטו, א' (2017). בנייה עתידית של בתי ספר בבניינים רבי-קומות – היבטים בריאותיים. **אקולוגיה וסביבה**, 8(1), 326–325. <http://www.magazine.isees.org.il/ArticlePage.aspx?ArticleId=646>. (אוחזר ביולי 2017).
- (2) המשרד להגנת הסביבה (2016). **הנחיות מקצועיות למיגון מבנים בפני חדירת גזי קרקע**. <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/ContaminatedSoil/VaporIntrusion/documents/guidelines-for-protecting-buildings-from-soil-gas-infiltration-aug-21-2016.pdf>. (אוחזר בספטמבר 2017).
- (3) המשרד להגנת הסביבה (2017). **ממצאי ניטור איכות אוויר. תחנות רכבת יוספטל (בת ים) ורכבת השלום (תל אביב) 13/3/16 – 29/5/16**. <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/FreedomofInformation/Documents/%D7%90%D7%99%D7%9B%D7%95%D7%AA%20%D7%90%D7%95%D7%95%D7%99%D7%A8/niturnayedethashalom13032016.pdf>. (אוחזר ביולי 2017).
- (4) המשרד להגנת הסביבה (עודכן ביוני 2016). **גז ראדון**. <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/Radiation/Radon/Pages/default.aspx>. (אוחזר ביולי 2017).
- (5) משרד הבריאות. **פחמן חד-חמצני – מידע חזותי**. http://www.health.gov.il/Subjects/Environmental_Health/Environmental_contaminants/Pages/CarbonMonoxide_infograph.aspx. (אוחזר ביולי 2017).
- (6) רכבת ישראל (2015). **ניתוח נתוני ניטור איכות אוויר ברציף תחנת רכבת השלום דצמבר 2014 – פברואר 2015**. <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/FreedomofInformation/Documents/%D7%90%D7%99%D7%9B%D7%95%D7%AA%20%D7%90%D7%95%D7%95%D7%99%D7%A8/nituravirakevet122014.pdf>. (אוחזר ביולי 2017).
- (7) Epstein, L., Koch, J., Riemer, T., Haquin, G., & Orion, I. (2017). An estimation of the exposure of the population of Israel to natural sources of ionizing radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 1-5. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncx005>
- (8) Epstein, L., Koch, J., Riemer, T., Orion, I., & Haquin, G. (2014). Radon concentrations in different types of dwellings in Israel. *Radiation Protection Dosimetry*, 162(4), 605-608. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct346>
- (9) Global Health Data Exchange (GHDx). GBD results tool. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (retrieved June 2017).
- (10) Kovler, K. (2017). The national survey of natural radioactivity in concrete produced in Israel. *Journal of Environmental Radioactivity*, 168, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.03.002>
- (11) Spizer, R., Steiner, V., Gelberg, S., & Sharf, G. *A comprehensive survey of indoor radon levels in Israel*. <http://tceeh.technion.ac.il/TCEEH//userdata/SendFile.asp?DBID=1&LNGID=1&GID=555> (retrieved June 2017).
- (12) Yitshak-Sade, M., Novack, L., Landau, D., Kloog, I., Sarov, B., Hershkovitz, R., & Karakis, I. (2016). Relationship of ambient air pollutants and hazardous household factors with birth weight among Bedouin-Arabs. *Chemosphere*, 160, 314-322. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.104>