

איכות אוויר הפנים

איכות אוויר הפנים היא איכות האוויר בתוך סביבות סגורות, כגון מבנים וסביבתם, לרבות בתים פרטיים, משרדים, מבנים ציבוריים כבתי ספר ובתי חולים וכן מערכות להסעת המונים. איכות ירודה של אוויר הפנים עלולה לפגוע בבריאות הדיירים, העובדים או השוהים במבנה ובסביבותיו. חשיפה לזיהום אוויר תוך-מבני גורמת לסיכון בריאותי, בייחוד מכיוון שרוב הציבור במדינות מפותחות מבלה פרק זמן ניכר בתוך מבנים ובחללים סגורים.

מזהמי אוויר תוך-מבני כוללים סוגים שונים של כימיקלים: גזים רעילים, כגון פחמן דו-חמצני ורדון, תרכובות אורגניות נדיפות (volatile organic compounds – VOCs), כגון בנזן ופורמלדהיד, חלקיקים נשימים, תוצרי בעירה, חומרי הדברה, עשן טבק, וכן מזהמים ביולוגיים מיקרוביאליים הכוללים מאות זנים של חיידקים ופטריות המשגשים בתוך מבנים בתנאים של לחות מספקת.¹

איכות אוויר הפנים מושפעת בעיקר מארבעה גורמים: (א) מקורות תוך-מבניים של זיהום, בהם בעיקר בישול וחימום ביתי בדלק ביולוגי וכן חומרים המשמשים בבנייה ובריהוט או מוצרים הפולטים תרכובות אורגניות נדיפות; (ב) איכות אוויר החוץ הנכנס לבניין; (ג) קצב חילוף האוויר בין פנים המבנה לסביבה החיצונית; (ד) מערכות האוורור עצמן, המכילות לעיתים קרובות גם מזהמים.

שהייה במבנה סגור שאיכות האוויר בו ירודה עשויה להביא לתוצאי בריאות שליליים קצרי טווח, כגון דלקות בדרכי הנשימה העליונות והתחתונות, תגובות אלרגיות, גירוי בעיניים, באף ובגרונ, כאבי ראש, סחרחורת ואף פגיעה בתפקוד הקוגניטיבי.² כאמור, איכות אוויר הפנים מושפעת גם מאיכות אוויר החוץ, והחשיפה לזיהום אוויר החוץ מתרחשת ברובה כשהוא חודר אל תוך המבנה. חדירה זו עשויה לחשוף את השוהים בו למזהמים שונים ולהביא לתוצאי בריאות שליליים ארוכי טווח, כגון מחלות נשימתיות (אסתמה, מחלת ריאות חסימתית כרונית, בرونכיט), מחלות לב, סרטן וסוכרת.³ יש אוכלוסיות הנחשבות רגישות במיוחד לזיהום אוויר תוך-מבני בשל גילן או מצב בריאותן, בהן קשישים ודיירי בתי אבות השוהים כמעט בכל שעות היממה בסביבה תוך-מבנית.

בישראל אין עדיין רגולציה מקיפה להסדרת תחום זיהום האוויר התוך-מבני, אך יש תקנים ותקנות הנוגעים לנושאים שונים בתחום, כמו רדון ודרישות אוורור, וחלקם מפורטים בתקנות התכנון והבנייה.⁴ משרדי הממשלה עוסקים באיכות אוויר הפנים בעיקר בעקיפין, הן באמצעות העיסוק באיכות אוויר החוץ הן באמצעות ועדות לתקינת מוצרי צריכה ורהיטים וכן ועדות לבנייה ירוקה.

למרות האקלים החם, יש בישראל שימוש בקמינים ובאמצעי חימום אחרים הכוללים בעירה פתוחה של דלק ביוגני. מנגד, האקלים החם בישראל מציב אתגרים הנוגעים בעיקר לאוורור הבתים. השימוש במזגנים דירתיים נפוץ מאוד, ועם העלייה ברמת החיים והמשך מגמת ההתחממות יש מעבר מאוורור טבעי באמצעות פתיחת חלונות לשימוש נרחב במזגנים שרובם רק מסחררים אוויר אך אינם מכניסים אוויר צח.

בחינת ההתקדמות שהושגה משנת 2017

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

האתגר: ביצוע מחקר חלוץ על איכות אוויר הפנים בבתי ספר

בקצרה: חוקרים מהטכניון מבצעים מחקר על חשיפה לתרכובות אורגניות נדיפות במעונות יום באזור מפרץ חיפה.

חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH) מבצעים מחקר על חשיפה לתרכובות אורגניות נדיפות במעונות יום באזור מפרץ חיפה. בעבודתם הם חוקרים את הקשר בין איכות אוויר החוץ לאיכות אוויר הפנים. תוצאות ראשוניות של המחקר הראו כי בכל המעונות שנבדקו היו ריכוזי הפנים של יותר מ-20 תרכובות אורגניות נדיפות גבוהים מאלה ששררו באותה עת בסביבה החיצונית. מגמה זו נובעת הן מפליטות ממקורות פנים הן מצמצום תהליכי פירוק של החומרים האורגניים בסביבה המבנית המוגנת לעומת הסביבה החיצונית (לדוגמה, פחות תהליכים של פירוק פוטוכימי וחמצון עקב חסר בקרינת שמש ישירה). המחקר אף הראה כי לקצב תחלופת האוויר השפעה רבה על ריכוז התרכובות האורגניות הנדיפות במעונות – במעונות שהיה בהם שימוש מוגבר באוורור טבעי (גם כאלה הממוקמים קרוב לכבישים) היה ריכוז התרכובות האורגניות הנדיפות נמוך יותר. עם זאת, חשוב לציין שמחקר זה התמקד רק בתרכובות אלה ולא במזהמים אחרים, כגון חומר חלקיקי (particulate matter – PM).

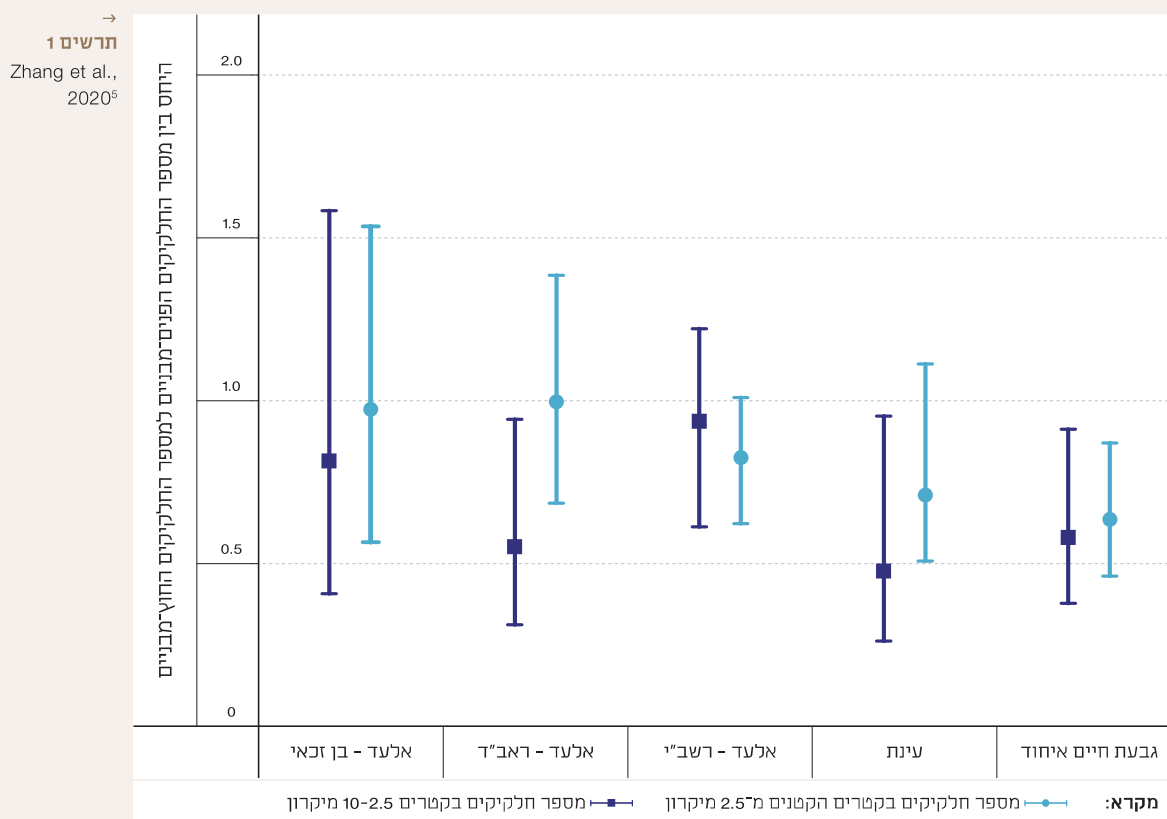
מקרא: התקדמות משמעותית התקדמות מסוימת התקדמות מעטה או ללא התקדמות

האתגר: ביצוע מחקרים על השפעות בריאותיות של איכות אוויר הפנים והקשר בין זיהום אוויר החוץ לאיכות אוויר הפנים

בקצרה: בוצעו כמה מחקרים בנושא.

בשנים האחרונות נעשו כמה מחקרים על יחסי הגומלין בין אוויר החוץ לאוויר הפנים ועל ההשפעות הבריאותיות של איכות אוויר הפנים. באחד המחקרים הללו בחנו חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים את הקשר בין ריכוזי חלקיקים בתוך מבנים ומחוצה להם ומצאו כי ריכוזי החלקיקים התוך-מבניים (הן בקטרים של פחות מ-2.5 מיקרון הן בקטרים שבין 2.5 ל-10 מיקרון) דומים לאלו החוץ-מבניים באותו האזור. תרשים 1 מציג את היחס בין מספר החלקיקים הפנים-מבניים למספר החלקיקים החוץ-מבניים ($IOR = in/out \text{ ratio}$). ככל שהיחס גבוה יותר, כך רבים יותר החלקיקים שחדרו אל תוך המבנה. היחס מוצג בשלושה מבנים ביישוב אלעד וכן בקיבוצים עינת וגבעת חיים איחוד.⁵

היחס בין מספר החלקיקים הפנים-מבניים למספר החלקיקים החוץ-מבניים של חומרים חלקיקיים בקטרים שונים בכמה אתרים בישראל



מחקרים נוספים בוחנים נושאים כגון עישון מחוץ לפאב והשפעתו על ריכוזי החומר החלקיקי בתוכו, פליטת תרכובות אורגניות נדיפות ממזרני פוליאוריתן בתנאי שינה שונים והשפעת החשיפה לזיהום אוויר (חוץ-מבני ותוך-מבני) במהלך ההיריון ובשנות החיים הראשונות על מחלות נשימתיות.

האתגר: גיבוש ופרסום המלצות לציבור על דרכים לצמצום החשיפה למזהמי אוויר הפנים

אתגר לשנים הבאות: שימוש בפרסומים לשם העלאת מודעות הציבור למזהמי אוויר הפנים.

בקצרה: משרד הבריאות פרסם שני מסמכים: (א) המלצות לציבור על דרכים לצמצם את החשיפה למזהמי פנים; (ב) המלצות לציבור על דרכים לצמצם רטיבות ועובש בתוך מבנים.

משרד הבריאות פרסם דף מידע על מזהמי אוויר הפנים, ובייחוד על סוגי הזיהום ומקורותיו, וכן שורה של המלצות לצמצום החשיפה למזהמים אלה, כגון הימנעות מעישון בתוך הבית, הימנעות משימוש בקמין עצים, הקפדה על אוורור, הימנעות מלחות וצמצום השהייה בחניונים תת־קרקעיים.⁶

המועצה הארצית לתכנון ולבנייה גיבשה בסוף שנת 2019 המלצה לשר האוצר על התקנת תקנות בנושא הגנה מפני רטיבות ("תקנות תכנון ובנייה, תכן הבנייה").⁷

האתגר: הקמת רשות ממשלתית מרכזית לטיפול באיכות אוויר הפנים

בקצרה: לא הושגה התקדמות בנושא זה.

עד כה לא הוקמה רשות ממשלתית מרכזית לטיפול באיכות אוויר הפנים, ולכן הטיפול בתחום זה אינו מתועדף ואינו מתוקצב. ראוי לבחון את הנעשה בעולם: בארצות הברית, למשל, פועלת ועדה פדרלית בנושא, וחברים בה נציגים מסוכנויות ומשרדים שונים: הסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה (U.S. Environmental Protection Agency – EPA), מחלקת האנרגיה, המינהל לבטיחות מוצרי צריכה (Consumer Product Safety Commission – CPSC) ואחרים;⁸ בגרמניה הוקמה ועדה לאומית לקביעת ערכים של מזהמי אוויר תוך־מבניים (German Committee on Indoor Guide Values);⁹ בקוריאה הדרומית הממשלה מבצעת רגולציה הדוקה על מגוון רחב של מזהמי אוויר תוך־מבניים.¹⁰

האתגר: ביצוע מחקר בנושא אבק ביתי

בקצרה: לא הושגה התקדמות בנושא זה.

מחקרים על איכות אוויר הפנים בישראל

- חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון (TCEEH), מהאוניברסיטה העברית בירושלים ומאוניברסיטת בן־גוריון בנגב חוקרים קשרים בין חשיפה לזיהום אוויר חוץ־מבני ותוך־מבני במהלך ההיריון ובשנות החיים הראשונות ובין מחלות נשימתיות.
- חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון בדקו פליטות של 18 תרכובות אורגניות נדיפות משמונה סוגים של מזרני פוליאוריתן בתנאים סביבתיים שונים (טמפרטורה, לחות וריכוזים משתנים של פחמן דו־חמצני) ומצאו כי טמפרטורות גבוהות הן הגורם העיקרי לפליטה מוגברת של חומרים אורגניים נדיפים מהמזרנים.¹¹

- חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון עורכים מחקר על חשיפה לתרכובות אורגניות נדיפות במעונות יום באזור מפרץ חיפה ובוחנים את יחסי הגומלין בין איכות אוויר החוץ לאיכות אוויר הפנים.
- חוקרים ממרכז המצוינות לחשיפה סביבתית ובריאות בטכניון בדקו אם עישון מחוץ לפאב משפיע על ריכוזי החומר החלקיקי בתוכו. החוקרים מדדו ריכוזי חלקיקים (particle number concentrations) באמצעות חיישנים ייעודיים על דלת הכניסה של פאב בחיפה, בתוך הפאב ומחוצה לו, באזור שהעישון מותר בו. החוקרים מצאו קשר בין עישון מחוץ לפאב לעלייה בריכוז החלקיקים בתוכו.¹²
- חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים חקרו את הקשר בין ריכוזי חלקיקים בתוך מבנים ומחוצה להם, הן בבתי ספר הן בבתי מגורים. החוקרים מצאו שריכוזי החומר החלקיקי התוך-מבני (הן בקטרים של פחות מ-2.5 מיקרומטר הן בקטרים שבין 2.5 ל-10 מיקרומטר) דומים לאלו החוץ-מבניים באותו האזור.⁵
- חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב, מאוניברסיטת חיפה, מאוניברסיטת תל אביב, מהקריה הרפואית רמב"ם וממכבי שירותי בריאות בוחנים מסד נתוני עתק (big data) של הריונות 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 זה לעומת אזורים אחרים בישראל.¹³

אתגרים לשנים הבאות

למרות ההבנה המתגבשת בישראל בשנים האחרונות בכל הנוגע להשפעתו המזיקה של זיהום אוויר תוך-מבני על בריאות הציבור, לא חלה התקדמות של ממש בהתמודדות עם האתגרים שסומנו בדוח בריאות וסביבה 2017. בסיבות לכך היעדר רשות ממשלתית מרכזית או כוח משימה בין-משרדי משותף לטיפול בנושא והיעדר תמיכה במחקרים בתחום זה. חשוב ביותר לפעול לקידום מחקר החלוץ על זיהום אוויר תוך-מבני במוסדות חינוך, שכן ילדים הם אוכלוסייה רגישה למזהמי אוויר חוץ-מבניים ותוך-מבניים. נוסף על כך, חשוב להרחיב את המחקר, לאתר את המקורות של מזהמי האוויר התוך-מבניים במוסדות חינוך ולהעריך את השפעותיהם על בריאותם של השהים במבנים. הערכה זו עשויה לתרום לעיצוב המדיניות בתחום זה בישראל ולסייע בהתוויית קווים מנחים לוועדות התכנון למיקומם הבטוח של מוסדות חינוך בהקשר של כבישים ראשיים ומקורות זיהום אחרים, כגון שדות חקלאיים או תעשייה.

אתגר מחקרי אחר נוגע להבנה טובה יותר של מזהמי אוויר תוך-מבניים בישראל: האם ישנם מקורות זיהום אוויר תוך-מבני הייחודיים לישראל? אילו מיקרו-סביבות תוך-מבניות מושפעות ממזהמי אוויר יותר מאחרות? כיצד תנאי האקלים (רוחות, לחות וטמפרטורות) בישראל משפיעים על פיזור המזהמים בתוך מבנים רבי קומות ועל יחסי הגומלין בין איכות האוויר החוץ-מבני לאיכות האוויר התוך-מבני?

תחום הבנייה הירוקה צובר תאוצה בארץ ובעולם, והוא עשוי לתרום לאיכות הסביבה, לחיסכון בחשמל, ובכך גם לבריאות הציבור. עם זאת, בתקנות הבנייה הירוקה אין קריטריונים נפרדים לזיהום אוויר תוך-מבני. יתרה מזו, העקרונות הקיימים בבנייה הירוקה עלולים להביא דווקא לפגיעה באיכות האוויר התוך-מבני (למשל, הדגש על איטום ושימור אנרגיה בא על חשבון אוורור חדרים), ועל כן חשוב לספק מענה הולם להיבטים חשובים אלה ולשלב בתקני הבנייה הירוקה קריטריונים הנוגעים במישרין לזיהום אוויר תוך-מבני. חשוב לציין כי במבנים שאין בהם מערכת אוורור מרכזית, התקינה המיועדת להבטיח רמת אוורור נאותה עוסקת בגודל הפתחים ובמיקומם (כדוגמת חלונות). ואולם עם התרחבות השימוש במזגנים דירתיים, תקינה זו עלולה שלא להשיג את מטרתה, ויש לייחד לה התייחסות מעודכנת.

מקורות

- (1) United States Environmental Protection Agency. Introduction to indoor air quality. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality> (retrieved May 2020).
- (2) Krishnamoorthy, Y., Sarveswaran, G., Sivaranjini, K., Sakthivel, M., Majella, M. G., & Kumar, S. G. (2018). Association between indoor air pollution and cognitive impairment among adults in Rural Puducherry, South India. *Journal of Neurosciences in Rural Practice*, 9(4), 529–534. https://doi.org/10.4103/jnrp.jnrp_123_18
- (3) World Health Organization. Ambient air pollution: Health impacts. <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/> (retrieved May 2020).
- (4) המשרד להגנת הסביבה (2020). **הערכת מצב. יוני 2020.**
- (5) Zhang, S., Yuval, Broday, D. M., & Raz, R. (2020). Predictors of the indoor-to-outdoor ratio of particle number concentrations in Israel. *Atmosphere*, 11(10), 1074. <https://doi.org/10.3390/atmos11101074>
- (6) משרד הבריאות. איכות אוויר פנים-מבנית. https://www.health.gov.il/Subjects/Environmental_Health/Environmental_contaminants/Pages/intern-structural.aspx (אוחזר באפריל 2020).
- (7) מינהל התכנון – המועצה הארצית לתכנון ולבנייה (2019). **החלטות המועצה הארצית לתכנון ולבנייה, ישיבה מס' 635, מתאריך ה' כסלו התש"פ, 3.12.19.** <https://mpro.co.il/wp-content/uploads/2019/12/pdf.10-תמא-עדכון-ובנייה-לתכנון-המועצה-הארצית-לתכנון-ובנייה-עדכון-תמא-10.pdf> (אוחזר במאי 2020).
- (8) United States Environmental Protection Agency. Federal interagency committee on indoor air quality. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/federal-interagency-committee-indoor-air-quality> (retrieved April 2020).
- (9) Fromme, H., Debiak, M., Sagunski, H., Röhl, C., Kraft, M., & Kolossa-Gehring, M. (2019). The German approach to regulate indoor air contaminants. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(3), 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.12.012>
- (10) Yang, J., Seo, J. H., Jeong, N. N., & Sohn, J. R. (2019). Effects of legal regulation on indoor air quality in facilities for sensitive populations: A field study in Seoul, Korea. *Environmental Management*, 64(3), 344–352. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01195-2>
- (11) Kira, O., Bareket, M., Sabach, S., & Dubowski, Y. (2019). Volatile organic compound emissions from polyurethane mattresses under variable environmental conditions. *Environmental Science & Technology*, 53(15), 9171–9180. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01557>
- (12) Drahtler, D. & Fishbain, B. (2019). Spatiotemporal distribution of air particulate pollution in a pub. *Environmental Epidemiology*, 3, 105. Abstract presented at the annual conference of the International Society for Environmental Epidemiology (ISEE), Utrecht, The Netherlands. <https://doi.org/10.1097/01.EE9.0000606852.85876.01>
- (13) 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>