

זהר ברנט-יצחקי

הפקולטה להנדסה, המרכז האקדמי
רופין; קבוצת המחקר לקיימות
סביבתית וחברתית, המרכז האקדמי
רופין

אלמוג קלנר

הפקולטה להנדסה, המרכז האקדמי
רופין

אופיר ביטון

הפקולטה להנדסה, המרכז האקדמי
רופין

שיר טולדנו

הפקולטה להנדסה, המרכז האקדמי
רופין

ורד ניר

מחלקת ילדים, המרכז הרפואי הלל
יפה; הפקולטה לרפואה ע"ש רות
וברוך רפפורט, הטכניון – מכון
טכנולוגי לישראל



ממצאי מחקר זה "מדגישים את הפוטנציאל לחזות עומסי תחלואה נשימתית בהתבסס על תנאים סביבתיים נמדדים" | אילוסטרציה: זהר ברנט-יצחקי באמצעות
תוכנת הבינה המלאכותית Microsoft Designer

ציטוט מומלץ

ברנט-יצחקי ז', קלנר א., ביטון א
ואחרים. 2025. שימוש במודלים של
למידת מכונה להערכת ההשפעה
של חשיפה קצרת-טווח למזהמי
אוויר על אשפוזי ילדים בישראל.
אקולוגיה וסביבה 16(3).

**שימוש במודלים של למידת מכונה להערכת
ההשפעה של חשיפה קצרת-טווח למזהמי אוויר
על אשפוזי ילדים בישראל**

20 באוקטובר, 2025

[גיליון סתיו 2025 / כרך 16\(3\)](#)

[בקצרה](#)

על פי ארגון הבריאות העולמי, חשיפה לזיהום אוויר אחראית לתמותה שנתית של מעל חצי מיליון ילדים מתחת לגיל 5 ברחבי העולם [3]. תינוקות וילדים מהווים אוכלוסיות רגישות לזיהום אוויר. הם פגיעים במיוחד מכמה סיבות: מערכות הגוף שלהם נמצאות בשלבי התפתחות, קצב הנשימה שלהם גבוה משל מבוגרים, ומידת החשיפה שלהם למזהמי האוויר רבה יחסית למשקל גופם.

תחלואה נשימתית אצל ילדים היא אחת הסיבות המרכזיות לפניות לחדרי מיון בעונות החורף, והיא מהווה גורם סיכון משמעותי לתמותת ילדים. על פי ארגון הבריאות העולמי, מאות אלפי ילדים נפטרים מדי שנה בעקבות סיבוכים של מחלות נשימתיות (בדגש על דלקת ריאות ונגיפים) [2].

במחקר שערכנו, שהתפרסם בכתב העת *Pediatric Pulmonology*, ביקשנו לבחון את הקשר בין חשיפה לתנאי מזג אוויר ואיכות האוויר לבין פניות לחדר מיון ואשפוזים של ילדים על רקע תסמינים נשימתיים [1]. נוסף על כך, פיתחנו מודלים חישוביים לחיזוי הסיכון לאשפוז על רקע זה. לצורך כך, ביצענו ניתוח רטרוספקטיבי של נתונים שנאספו מכ-2,500 ילדים בגילים שנה עד 18, שפנו לחדר המיון של בית החולים הלל יפה בחדרה על רקע תסמינים נשימתיים במהלך השנים 2016–2017. אספנו גם נתונים מטאורולוגיים ונתוני איכות אוויר מתשע תחנות ניטור באזור השרון. הנתונים כללו מדידות של מזהמים, כגון תחמוצות חנקן (NO_x) וגופרית דו-חמצנית (SO_2), וכן מדדים מטאורולוגיים של טמפרטורה ולחות יחסית (באוויר). הנתונים הגולמיים עברו ניקוי והשלמת ערכים חסרים. את המדדים הללו הצלבנו עם נתוני הפניות לחדר המיון והאשפוזים: ביצענו התאמה בין הנתונים הקליניים של המטופלים לבין רמת זיהום האוויר והתנאים המטאורולוגיים באזורי מגוריהם, בפרקי זמן של שש שעות טרם ההגעה לחדר המיון.



"תחלואה נשימתית אצל ילדים היא אחת הסיבות המרכזיות לפניות לחדרי מיון בעונות החורף, והיא מהווה גורם סיכון משמעותי לתמותת ילדים" | אילוסטרציה: זהר ברנט-יצחקי באמצעות תוכנת הבינה המלאכותית Microsoft Designer

בהמשך בדקנו אם קיים קשר בין חשיפה סביבתית למזהמי אוויר לבין שיעור הפניות לחדר המיון על רקע תסמינים נשימתיים. לשם כך, השווינו את מספר הפניות למיון בין ימים שרמת זיהום האוויר בהם הייתה גבוהה לבין ימים שהרמה בהם הייתה נמוכה. תחילה חישבנו את הריכוז היומי הממוצע של חלקיקים נשימים עדינים ($PM_{2.5}$) בחמש ערים מרכזיות בארץ, המייצגות את מרבית האוכלוסייה בישראל (ירושלים, תל-אביב, באר שבע, קריית אתא ורעננה) ובהמשך הגדרנו 'ימים עם עומס זיהום גבוה' כימים שהריכוז הממוצע בהם היה מעל האחוזון ה-90 של מדד זה, ו'ימים עם עומס זיהום נמוך' כימים שהריכוז הממוצע היה מתחת לאחוזון ה-10 של מדד זה. הממצאים הראו קשר מובהק סטטיסטית בין חשיפה סביבתית לבין תחלואה: נמצא כי שיעור הפניות לחדר מיון על רקע תסמינים נשימתיים עלה ביותר מ-40% בימים עם עומס זיהום גבוה: ממוצע של 3.4 פניות של ילדים בימים עם עומס זיהום נמוך, ל-4.8 פניות בממוצע בימים עם עומס זיהום גבוה ($p=0.019$). נוסף על כך, נמצא כי ילדים שנשלחו לאשפוז היו אלה שנחשפו לרמות לחות נמוכות יותר באופן מובהק בהשוואה לאלה ששוחררו הביתה ($p=0.005$).

בהמשך, פיתחנו ארבעה מודלים של למידת מכונה לחיזוי סיכויי האשפוז של ילדים המגיעים למיון על רקע נשימתי: מודלים של יערות אקראיים ומודלי XGBoost לשתי קבוצות גיל (תינוקות – עד גיל שנתיים, וילדים – מגיל שנתיים ומעלה). המודלים התבססו על מדדים סביבתיים (טמפרטורה, לחות, מדדי זיהום אוויר), מדדים קליניים (תלונות המטופל), וכן מדדים דמוגרפיים כלליים (גיל ומין). בחינת המודלים על סט מבחן הצביעה על אמינותם ועל רמת הדיוק הגבוהה שלהם: מודל היערות האקראיים עבור תינוקות נמצא אמיין ומדויק ($AUC=99\%$) מודל ה-XGBoost עבור קבוצת גיל זו הניב תוצאות טובות ($F1\ score=0.98, Accuracy=0.98$). מודל ה-XGBoost לקבוצת הגיל של ילדים הציגו ביצועים טובים. המשתנים הסביבתיים, בדגש על חשיפה לתחמוצות חנקן ולגופרית דו-חמצנית, נמצאו כמשמעותיים ביותר במודלי היערות האקראיים, ואילו במודלי ה-XGBoost המשתנים הקליניים (עייפות, שיעולים, בחילות וכאבי בטן) נמצאו כמשמעותיים ביותר, וכך גם הטמפרטורה החיצונית.

לממצאים האלה יש השלכות יישומיות נרחבות. ראשית, הם מדגישים את הפוטנציאל לחזות עומסי תחלואה נשימתית בהתבסס על תנאים סביבתיים נמדדים, שהם נתונים הזמינים לציבור. יתרה מכך, התנאים הסביבתיים בעצמם ניתנים לחיזוי. המשרד להגנת הסביבה מפרסם את [תחזית זיהום האוויר היומיים הקרובים](#) ברמת ביטחון גבוהה, וקיימים מודלים המאפשרים לחזות את זיהום האוויר לתקופת זמן ארוכה יותר. באמצעות שילוב המידע המופק מהמודלים הללו ניתן לספק למוסדות רפואיים כלי תומך החלטה לניהול עומסים, לרבות תכנון כוח אדם, הקצאת מיטות, וידוא קיומו של מלאי תרופות מתאים והיערכות לתגבור חדרי מיון.

מחקר זה מצטרף לשורה של מחקרים שמצביעים על ההשלכות הבריאותיות המשמעותיות של חשיפה למזהמי אוויר, ומדגים את חשיבות צמצום זיהום האוויר בישראל. כדי להשיג את המטרה החשובה הזו יש לעודד שימוש באנרגיה ממקורות מתחדשים, אגירת אנרגיה, מעבר לתחבורה חשמלית וצמצום פליטות מהתעשייה.

1. Barnett-Itzhaki Z, Nir V, Kellner A, et al. 2025. [Machine learning models for predicting pediatric hospitalizations due to air pollution and humidity: A retrospective study](#). *Pediatric Pulmonology* **60**: e71106.
2. World Health Organization (WHO). [Pneumonia](#).
3. World Health Organization (WHO). 2018. [Air pollution and child health: Prescribing clean air: Summary](#). Report No. WHO/CED/PHE/18.01.