

11 במאי 2026

השלכות בריאותיות של המשך הפעלת יחידות כוח פחמיות בתחנת הכוח אורות רבין
הערכת סיכונים טוקסיקולוגית וחוות דעת

ד"ר אופיר לבון, MD, FEAPCCT, FACMT

כללי

התבקשתי על ידי איגוד ערים שרון-כרמל לערוך חוות דעת אודות ההשלכות הבריאותיות של המשך הפעלת יחידות כוח פחמיות בתחנת כוח אורות רבין.

עיקרי השכלתי וניסיוני המקצועי:

תואר דוקטור לרפואה בהצטיינות, הפקולטה לרפואה ע"ש רפפורט, הטכניון, 1995
 בעל רישיון לעסוק ברפואה משנת 1995, מספר רישיון 32589 במשרד הבריאות
 בעל תואר מומחה ברפואה פנימית משנת 2006, מספר מומחה 22704 במשרד הבריאות
 בעל תואר מומחה בפרמקולוגיה קלינית משנת 2009, מספר מומחה 27805 במשרד הבריאות
 בוגר השתלמות-על בטוקסיקולוגיה וחבר צוות במכון הארצי להרעלות, רמב"ם, 2006-2009
 ראש מדור כימיה, ענף רפואת אב"ד, מפקדת קצין רפואה ראשי, צה"ל, 2009-2011
 מנהל היחידה לפרמקולוגיה וטוקסיקולוגיה קלינית, מרכז רפואי כרמל, 2011 ואילך
 יו"ר ועדת תרופות מוסדית, מרכז רפואי כרמל, 2012 ואילך
 מנהל היחידה לבטיחות המטופל וניהול סיכונים, מרכז רפואי כרמל, 2012-2021
 חבר ועדות מייעצות לרישום ובטיחות תרופות, אגף הרוקחות, משרד הבריאות, 2014 ואילך
 יו"ר החברה הישראלית לטוקסיקולוגיה, ההסתדרות הרפואית בישראל, 2019 ואילך
 חבר ועד האיגוד הישראלי לפרמקולוגיה קלינית, ההסתדרות הרפואית בישראל, 2017 ואילך
 חבר הקולג' האמריקאי לטוקסיקולוגיה רפואית, 2021 ואילך
 יו"ר ועדת האנטידוטים הארצית, משרד הבריאות, 2021 ואילך
 חבר המועצה הלאומית לרוקחות, משרד הבריאות, 2021 ואילך
 חבר ועד האיגוד האירופאי למרכזי הרעלות וטוקסיקולוגים קליניים, 2022 ואילך
 עמית האיגוד האירופאי למרכזי הרעלות וטוקסיקולוגים קליניים, 2023 ואילך
 יו"ר הוועדה המייעצת לטוקסיקולוגיה, משרד הבריאות, 2023 ואילך
 חבר האקדמיה האמריקאית לטוקסיקולוגיה קלינית, 2023 ואילך
 עמית הקולג' האמריקאי לטוקסיקולוגיה רפואית, 2025 ואילך
 יועץ פרמקולוגי וטוקסיקולוגי עצמאי, 2014 ואילך
 מרצה קליני, הפקולטה לרפואה ע"ש רפפורט, הטכניון, 2015-2020
 מרצה בכיר קליני, הפקולטה לרפואה ע"ש רפפורט, הטכניון, 2020 ואילך

המסמכים שעמדו בפני:

- דו"חות שנתיים של איגוד הערים לאיכות סביבה שרון-כרמל (מתוך אתר המרשתת של האיגוד)
- מרשמי פליטות לסביבה של המשרד להגנת הסביבה (מתוך אתר המרשתת של המשרד)
- מסמך ניתוח נתוני יחידות 1-4 בתחנת הכוח אורות רבין בהשוואה ליחידות ייצור אנרגיה נוספות במרחב האיגוד (איל פורמן, בקרת וניתוח נתונים, מחלקת ניטור אוויר, איגוד ערים שרון-כרמל) מתאריך 28/12/2025
- מסמך ממצאי ניטור רציף בעקבות בדיקות כשירות ביחידות 1-4 בדצמבר 2025 (איל פורמן, בקרת וניתוח נתונים, מחלקת ניטור אוויר, איגוד ערים שרון-כרמל) מתאריך 12/1/2026
- דוח מסכם: השפעת הפעלת יחידות 1-4 בתחנת הכוח "אורות רבין" לאור מצב החירום הביטחוני במדינה - מבצע "שאגת הארי" (30 באפריל 2026), איגוד ערים לאיכות סביבה שרון-כרמל.

רקע

תחנת כוח אורות רבין כוללת 6 יחידות ייצור המופעלות בפחם ועוד שתי יחידות מסוג מחזור משולב אשר מופעלות ע"י גז טבעי כאשר יחידות 1-4 הן יחידות המופעלות בפחם ללא אמצעי הפחתת פליטות (סולקנים).

על פי החלטות הממשלה משנת 2018 (החלטה מס' 3859 והחלטה מס' 4080), נקבע כי על חברת החשמל להקים שני מחזמי"ם עד יוני 2022, על מנת לאפשר את הפסקת פעילות היחידות עד למועד זה. ביום 8.2.21 נקבעו עקרונות מדיניות הממשלה – בעניין בחינת היקף ואופן השימור של היחידות, ולפיהן תקופת השימור תהא ממועד התקיימות התנאים בסעיף א להחלטת ממשלה מס' 4080 ועד ליום 31.12.25. למרות האמור, החליט שר האנרגיה על המשך הפעלת יחידות 1-4 בהיקף מוגבל ובמתווה של "שימור חס" עד לשנת 2028, וביום 19.2.2026 תיקן המשרד להגנת הסביבה את היתר הפליטה באופן המאפשר ליחידות אלו לפעול ללא דרישה לעמידה בטכנולוגיה המיטבית הזמינה ותוך הקלות משמעותיות מן הדרישות הסביבתיות.

הנחות יסוד ומאפייני החשיפה

הפעלת היחידות הנדונות כרוכה בבעירת פחם ופליטת התוצרים דרך ארובות. תוצרי הפליטה בתצורת גזית וחלקיקית נישאים באוויר ומהווים מקור לחשיפה נשימתית מתמשכת לאנשים הנמצאים וגרים באיזור הגיאוגרפי המושפע. לפי איגוד ערים שרון-כרמל, על בסיס תוצאות ניטור איכות האוויר רבות שנים באמצעות מערך תחנות ניטור הרציפות של האיגוד, האיזור המושפע מתוצרי הפליטה של ארובות תחנת הכוח אורות רבין נפרש על פני שטח נרחב (השרון ופאתי הכרמל) בו חיים כמיליון איש, כמפורט בדו"חות ומקורות המידע של איגוד הערים.

הערכת הסיכון הטוקסיקולוגי מתייחסת לחשיפה של אוכלוסייה מגוונת לרבות ילודים, תינוקות, פעוטות, ילדים, מבוגרים, קשישים ונשים בהיריון, הנמצאים באופן קבוע (חשיפה ארוכת טווח) במרחב הנדון. בישראל קיימות תקנות אוויר נקי המציגות ערכים מירביים באוויר עבור רשימת חומרים שונים. קיימות דרגות של ערכים כולל ערך יעד (ריכוז של מזהם באוויר מעל לערך שנקבע בתקנות שמהווה אינדיקציה

שקיים חשש לפגיעה בחיי אדם, בבריאות, באיכות החיים, במתקנים או בסביבה. ערך זה מוגדר כמטרה שמומלץ לשאוף להגיע אליה), ערך סביבה (ריכוז שנקבע על בסיס ערך היעד, תוך התחשבות בידע מדעי וטכנולוגי עדכני ובאפשרות מעשית למנוע חריגות מערך היעד. חריגה מערך הסביבה מהווה זיהום אוויר חזק או בלתי סביר, ואסורה על פי החוק), וערך התרעה (ערך שמוגדר כריכוז קצר טווח שבו חשיפה עלולה לסכן את בריאות האדם, ויש לנקוט באמצעים מידיים כדי למנוע את החריגה או את הנזק הנובע ממנה). ערכים אלו קיימים עבור מזהמים מסוימים באוויר, אך הם אינם מהווים ערכי סף מוחלטים להעדר סיכון. מעשית קיים סיכון בריאותי מסוים גם בחשיפה לריכוזים מתחת לערכים הללו. יותר מכך, חשיפה משולבת לחומרי הפליטה גוררת אפקט מצטבר עד מאגבר (סינרגיסטי) גם אם כל חומר בנפרד נמצא בריכוז מתחת לערך סף שבתקנות. בהתאם יש להתייחס בחומרה מתאימה לכל ערך נמדד של כל חומר.

תוצרי פליטה מתחנת כוח פחמית ותכונותיהם הכימיות והפיזיקליות

תחנת כוח פחמית שורפת כמויות גדולות של פחם לייצור חשמל, ובתהליך הפליטה משתחררים מגוון חומרים רעילים. להלן תיאור הכימי של החומרים העיקריים.

חומר חלקיקי נשימתי (PM):

תערובת הטרוגנית ראשונית ושניונית, כולל חלקיקים עדינים בקוטר עד 2.5 מיקרון (PM_{2.5}) וחלקיקים גסים יותר (PM₁₀). חלק מהחלקיקים נפלטים ישירות כעשן ופיח, ואחרים נוצרים באופן משני כשהגזים הגופריתיים והחנקניים עוברים תגובות באטמוספירה והופכים לחלקיקי סולפט וניטראט, וחומר אורגני משני, נדיף ונדיף למחצה.

בבעירת פחם נוצרים חלקיקים בכמה מנגנונים עיקריים:

1. אפר מעופף (Fly ash): תוצר מינרלי של מרכיבי האפר בפחם (אלומינוסיליקטים, תחמוצות מתכת) שעובר התכה ומתכנס לצורות של טיפות/כדורונים שמתמצקים במהירות.
2. פיח/פחמן יסודי: נוצר בתנאי בעירה לא מושלמת, לרוב משמעותי יותר בתנאי חוסר מיצוי חמצן מקומי/קירור מהיר.
3. עיבוי של תרכובות נדיפות/חצינדיפות, חומצות (כמו חומצה גופריתית), אמוניום סולפט/ביסולפט, תרכובות אורגניות חצינדיפות ותרכובות מתכת נדיפות (למשל של כספית) שמתעבות על פני חלקיקים קיימים או יוצרות גירעון של חלקיקים אולטרה-דקים.
4. יצירה משנית באטמוספירה של סולפיטים וניטראטים. בנוכחות אמוניה מתקבלים מלחים אמוניים. בנוסף מתקבל אירוסול אורגני משני מתגובות פוטוכימיות.

לחלקיקים PM יש מגוון צורות כולל כדורונים שאופייניים לאפר מעופף, שהם לעיתים חלולים, ושנוצרים מהתכה חלקית וטיפות מותכות שמתמצקות מהר; אגרגטים פרקטליים של פיח; חלקיקים אמורפיים כולל אמוניום סולפט/ניטראט וחומצות שנוטים להיות אמורפיים/היגרוסקופיים ולעיתים אף נוזליים-למחצה בתנאי לחות סביבתיים; חלקיקים מצופי-שכבה שכוללים גרעין מינרלי/פחמני עם מעטפת של סולפט/אורגני או להפך (שכבות אלו מכתיבות תגובתיות ופוטנציאל שחרור יונים/מתכות).

ב-PM ניתן לזהות ארבע קבוצות כימיות מרכזיות:

1. מופע מינרלי/אנאורגני של תחמוצות וסיליקטים (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti) ומלחי

סולפט/ניטראט/כלוריד

2. מופע פחמני עם תרכובות אורגניות מגוונות

3. מתכות ויסודות קורט כולל עופרת, ארסן, קדמיום, כספית, אבץ, נחושת, מנגן, ניקל, כרום ועוד,

שמצויים כחלק מהמטריצה או כמלחים/תחמוצות

4. תרכובות ריאקטיביות/מחמצנות כולל סולפטים חומציים, תוצרים של רדיקלים ופעילי שטח

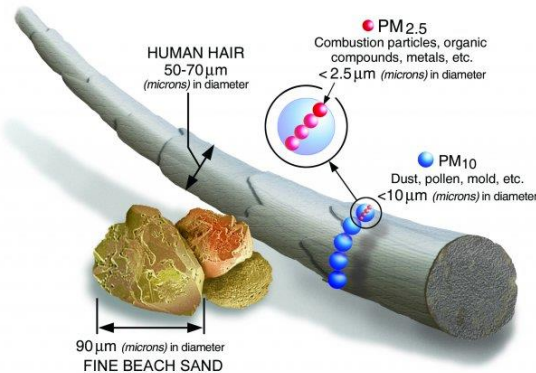
כאשר מעמיקים בניתוח של המרכיבים הכימיים ניתן לזהות מגוון עצום של חומרים. בחלקיקים מזהים סיליקטים ותחמוצות רבות תחמוצות ברזל, סידן, מגנזיום ואשלגן. יש גם מינרלים משניים בהם קלציט וקוורץ. מזהים גם סולפטים, ניטראטים, נגזרות כלורידיות ומלחים אמוניים. בנוסף, PM מכילים בתוכם ו/או נושאים עליהם פחמן אורגני/יסודי ותרכובות אורגניות מגוונות (אליפטיות, ארומטיות, חומצות קרבוקסיליות, אלדהידים, פנולים). המורכבים יותר ובעלי הסיכון הטוקסי הגבוה הם פחמימנים ארומטיים פוליציקליים שיכולים להימצא בחלקיקי פיח או בחומר אורגני מעובה. בחלקיקים PM יש מתכות רבות כמתואר לעיל. אלו יופיעו כיסודות או כתחמוצות, עם פוטנציאל ריאקטיביות גבוה. תחנות כוח פחמיות מאופיינות בפליטה של חלקיקים, כולל עדינים בתחום PM_{2.5}, וחלקיקים גסים יותר PM₁₀ הקשורים לאפר מעופף גדול יותר. הקוטר האווירודינמי קובע שקיעה בדרכי הנשימה; אך התכונות הכימיות קובעות את האינטראקציות הביולוגיות שגוררות את הנזק הטוקסיקולוגי. לחלקיקי האפר המעופף והפיח יש שטח פנים גבוה עם מבנה נקבובי מורכב. זה מאפשר ספיחה רבה של תרכובות אורגניות ומתכות. סולפטים וניטראטים הם היגרוסקופיים. בסביבה לחה, החלקיקים עוברים למצב נוזלילמחצה, ואז מתגברת ההרחבה ההיגרוסקופית ומשתנה הגודל האווירודינמי. יש עלייה במסיסות יונים ומתכות, ובהתאם הגברה של התגובות כימיות ויכולת האגרציה, השקיעה ויעילות לכידה של חומרים אחרים באוויר.

לחלקיקים PM רבים יש חומציות גבוהה, כל עוד אין סתירה עם אמוניה או חומרי בסיס. חומציות גבוהה מגבירה שחרור יוני מתכת ומעלה פוטנציאל גירוי של דרכי הנשימה.

לחלקיקים יש פוטנציאל חמצוני שעשוי לזרז תגובות רדיקליות. פני שטח פחמניים, במיוחד עם קבוצות פונקציונליות מחומצנות, יכולים לתרום לתגובות.

<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

השוואה גרפית של גודל החלקיקים PM (2.5, 10) לעומת גרגירי חול ושערה אנושית



מתכות כבדות:

הפחם מכיל מתכות רעילות שמתנדפות בשריפה. כספית, עופרת, ארסן, קדמיום ומתכות נוספות נפלטות לאוויר כחלקיקי אפר דקיקים או גזים. המתכות הנפלטות אינן נותרות כמתכות טהורות אלא נמצאות בתרכובות כימיות לרבות תחמוצות, כלורידים, סולפטים ועוד. המתכות הכבדות נדבקות לחלקיקים העדינים או מתעבות עליהם עם התקררות הגזים.

ההתנהגות הכימית של כל יסוד במהלך הבעירה והקרור נשלטת על ידי מספר גורמים כולל נדיפות/לחץ אדים בטמפרטורות בעיר, קינטיקת המרה וכימיה של הגזים (חמצון/חיזור, יצירת מלחים כלורידים/סולפטים, ותגובות הטרוגניות על פני אפר), התקררות, עיבוי ו/או ספיחה/אדסורבציה על חלקיקי אפר.

התצורות הכימיות הצפויות כוללות תחמוצות מתכת כולל PbO , CdO , NiO , Cr_2O_3 , כלורידים כספית כלורית, עופרת כלורית וקדמיום כלורי (אלו נוטים להיות נדיפים יותר ולכן נקשרים לאחר עיבוי על החלקיקים העדינים), סולפטים (קדמיום סולפט, עופרת סולפט), אוקסיאניונים ומתלואידים.

במהלך הבעירה יסודות הקורט עשויים להישאר כלואים במינרלים המקוריים, להתנדף ואז להתעבות/להיספח על האפר והחלקיקים העדינים או להישאר בפאזה גזית.

העשרת החלקיקים העדינים במתכות כבדות נוטה להיות גבוהה יותר בגלל שטח פנים גבוה, עיבוי יעיל יותר על פני חלקיקים קטנים, ומבנה גרעין פחמני עם שכבה מועשרת במתכות/מלחים.

כספית היא מתכת שכיחה בתוצרי הפליטה מבעירת פחם. יתכנו מספר תצורות של כספית כולל כספית גזית שנדיפה באוויר, תחמוצת כספית שמקושרת לכלורידים ונתפסת במערכות רטובות, כספית שנקשרת ישירות לחלקיקים.

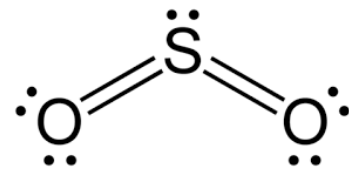
ארסן גם נמצא כתוצר בעירת פחם. הוא יכול להופיע בפאזה גזית בטמפרטורות בעירה, ולאחר מכן בעת קירור גזי הפליטה הוא עובר למצב חלקיקי באמצעות ספיחה על אפר או עיבוי על פני אפר.

עופרת וקדמיום קיימים בפחם, ונוטים להתנדף חלקית ואז להתעבות/להיספח על חלקיקים. לכן מופיעים במידה רבה באפר המעופף, ובריכוז שיכול להיות גבוה על פני החלקיקים הדקים. מתכות אלו יכולות להתגלגל לתצורות של מלחים ותחמוצות.

כרום וניקל מופיעים לרוב בתצורה חלקיקית בתלות במצב החימצוני.

גופרית דו-חמצנית (SO₂):

גז חריף הנוצר מגופרית שבפחם. הוא נפלט בכמויות גדולות מתחנות פחמיות, וגורם לדלקות בדרכי הנשימה. באטמוספירה הגז מתחמצן ויוצר חלקיקי סולפט, שמגבירים את תכולת ה-PM. הגז SO₂ הוא בעל מסה של 64 גרם למול עם מבנה של מולקולה זוויתית פולרית. הוא נוטה להתחמצן בקלות.



זהו גז חסר צבע עם ריח חריף/חונק. הוא בעל נקודות התכה של -72 מעלות C, ונקודת רתיחה של -10 מעלות C. הוא בעל צפיפות סגולית של 2.93 גרם לליטר (כבד מאוויר). הגז מסיס מאוד במים. הוא נלכד ביעילות בתהליכי ספיחה. הוא בעל לחץ אדים גבוה (נדיף/גז בטמפרטורת חדר) ואינו דליק. הגז הוא מקור לתרכובות שניוניות רבות בהן חומצה גופריתית (H₂SO₄) וסולפטים חלקיקיים (שהופכים לחלק תערובת PM).

SO₂ מגיב מהר מאוד עם אדי מים בארובה ו/או מיד לאחר הפליטה ויוצר חומצה גופריתית, ולכן קשה למדוד אותו כגז בסביבה. הוא עובר אוקסידציה מימית למלחי סולפט שמהווים מרכיב מרכזי ב"גשם החומצי" המאפיין מצבי זיהום אוויר כבדים. המסיסות הגבוהה וריאקטיביות במים גוררים היווצרות משמעותית של טיפות/אירוסולים בלחות ויצירת סולפטים משניים, שהם היגרסקופיים ולכן הם משפיעים על גדילת חלקיקים

תחמוצות חנקן (NO_x):

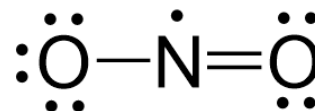
NO_x הוא הגדרה כללית של פליטות תחמוצות חנקן ממקורות בעירה. בבעירת פחם רוב ה- NO_x הנפלט הוא לרוב NO. בנוסף נוצר בכמות קטנה NO₂.

היווצרות NO_x בתהליך בעירה כרוכה בשלושה מנגנונים עיקריים:

1. קיבוע תרמי: נוצר מחנקן אטמוספרי בטמפרטורות להבה גבוהות; הקצב תלוי בטמפרטורה, ריכוז חמצן וזמן שהייה בטמפרטורה הגבוהה.
2. חמצון חנקן שקשור כימית בתוך הדלק/פחם
3. תגובה מוקדמת בחזית הלהבה בין רדיקלים פחמימניים וחנקן מולקולרי; לרוב אפקט קטן יחסית

ל-NO (תחמוצת חנקן) יש מבנה מולקולה דו-אטומית (N=O), לרוב מתנהג כגז חסר צבע. יש לו משקל מולקולרי של 30 גרם למול. נקודת רתיחה של 151 מעלות C לערך. הוא נוטה להתחמצן ל-NO₂ לאחר פליטה בתלות בתנאים ובתגובות משניות. לכן היחס NO/NO₂ משתנה מהר יחסית עם זמן/מרחק מהארובה.

ל-NO₂ (די-תחמוצת חנקן) יש מבנה מולקולה תלת-אטומית, זוויתית ורדיקלית. זוהי מולקולה בעלת יכולת חמצון גבוהה יחסית. משקל מולקולרי של 46 גרם למול עם נקודת רתיחה של 21 מעלות C לערך.



תגובה כימית בולטת היא פוטוכימית אטמוספרית. תחמוצות החנקן באוויר מגיבות ליצירת אוזון וחלקיקים משניים (בעיקר ניטראטים). החנקן המחומצן הופך גם לחומצה חנקתית בתגובה עם מים. תהליך זה תורם את חלקו להיווצרות הגשם החומצי ולהיווצרות אירוסול ניטארטי. תוצרי המשנה בראשם האוזון גוררים מגוון כימי רחב יותר, ובהתאם סיכון טוקסיקולוגי רחב יותר.

רעילות של תוצרי הפליטה¹⁻⁷

חלקיקים עדינים באוויר PM הם הגורם המשמעותי ביותר בתחלואה ותמותה מזיהום אוויר. חשיפה לחלקיקים עדינים נקשרה באופן סיבתי למחלות לב, כלי דם וריאה, ואף לסרטן ריאה. חלקיקים אלה חודרים לעומק הריאות, גורמים לתגובות דלקתיות, עקה חמצונית והפרעות בקרישת הדם. כך עולה הסיכון והביטוי של מחלות לב וכלי דם לרבות אוטם בשריר הלב, דלקות כלי דם (וסקוליטיס) ושבץ מוחי, החמרת מחלות ריאה כולל אסתמה ומחלת ריאות חסימתית כרונית (COPD), ועולה הסיכון להתפתחות ממאירות. בשנת 2013 קבעה הסוכנות הבינלאומית לחקר הסרטן (IARC) שזיהום אוויר סביבתי ובמיוחד חלקיקים באוויר PM הם מסרטנים ודאיים לאדם חשיפה מתמשכת לחלקיקים באוויר PM מעלה סיכון לזיהומים בעיקר בדרכי נשימה וריאות עקב פגיעה במנגנוני ההגנה במערכת הנשימה. כמו כן, נמצא קשר בין חשיפה ל-PM לבין מחלות קוגניטיביות וניוניות של המוח לרבות דמנציה, במנגנונים נוירואימוניים. יש עלייה ברורה ומוכחת בתמותה מכל סיבה הקשורה בחשיפה מתמשכת לחלקיקים עדינים באוויר. חשיפה ל-2.5PM גורר גם פגיעה בהיריון והתפתחות העובר. יש עליה מוכחת בשיעור הפלות, לידות מוקדמות, ומשקל עובר נמוך, ככל שהחשיפה ל-PM עולה.

על כל הנזקים הבריאותיים המגוונים והחמורים של חשיפה לחלקיקים באוויר יש ראיות מחקריות וביולוגיות לקשר סיבתי. קיימים מנגנונים ישירים שגורמים לנזק לרקמות ולאיברים (תגובה דלקתית מערכתית, פגיעה בכלי דם, יצירת קרישי דם ועוד).

חלק מהתחלואה עקב החלקיקים קשורה לחומרים בדגש המתכות והפחממנים המורכבים שנמצאים בהם/עליהם. מדוב ברעילות משולבת גם של המרכיב החלקיקי וגם של התכולה הטוקסית שלו.

גופרית דו-חמצנית (SO_2) היא חומר מגרה למערכת הנשימה. חשיפה חדה לגז אף למשך זמן קצר (כמה דקות) עלולה לגרום לכיווץ סימפונות והחמרה נשימתית, במיוחד אצל חולי אסתמה וילדים. התסמינים כוללים שיעול, קוצר נשימה, צפצופים והרגשת שריפה באף ובגרון. עליות חדות ואף קצרות בריכוז הגז גוררות עליה בביקורים בחדר מיון בשל תחלואה נשימתית חדה לרבות התקפי אסתמה.

תחמוצות חנקן הן חומרים מגרים חזקים בדרכי נשימה והריאות, שמגבירה תסמינים וסימנים נשימתיים לרבות קוצר נשימה, שיעול, עד התפתחות דלקת סימפונות וריאות. בילדים, חשיפה ארוכת-טווח לחנקן דו חמצני קשורה לעלייה בסיכון לפתח מחלת אסתמה.

מתכות כבדות הן חומרים רעילים פוטנטיים גם בחשיפה נשימתית בריכוזים נמוכים. ודאי אם החשיפה מתמשכת. הם קשורים לתחלואה עצבית והתפתחותית וחלקם מעלים סיכון לממאירות. כספית מתפזרת באוויר למרחקים והחשיפה אליה תיתכן ישירה בנשימה של האוויר המזוהם בחלקיקים ואדים של כספית, וגם דרך מזון לאחר שקיעה של חלקיקי הכספית במקווי מים (כמו בריכות דגים הרבות שקיימות במרחב איגוד הערים שרון-כרמל), שם היא מצטברת במארג המזון. חשיפה כרונית לכספית פוגעת במערכת העצבים (בעיקר בהתפתחות מוח העובר והילד) וגורמת להפרעות נוירולוגיות, עם ירידה בתפקוד קוגניטיבי.

עופרת קיימת בתוצרי הפליטה של בעירת פחם. העופרת היא רעל עצבי חזק. הגורם בילדים ועוברים לעיכוב בהתפתחות מערכת העצבים ומעלה סיכון להפרעות קשב והתנהגות. במבוגרים חשיפה לעופרת מגבירה ומחמירה יתר לחץ דם, פגיעה בכליות ונזק עצבי. עופרת גם גוררת נזק המטולוגי לרבות אנמיה כמורה.

ארסן שגם הוא מצוי בחלקיקים נפלטים הוא חומר מסרטן ודאי לאדם (Group 1). חשיפה נשימתית לארסן מגבירה סיכון לסרטן ריאות, עור ושלפוחית השתן. גם קדמיום מסווג כמסרטן ריאות וגורם לנזק כלייתי ולפגיעה בצפיפות עצם.

כרום גורם לגירוי ריריות עד התפתחות כיבים. תצורות יוניות מסוימות של כרום הן מוטגניות ומעלות סיכון לממאירות.

ניקל הוא חומר עם פוטנציאל אלרגיות גבוה יחסית. חשיפה נשימתית כרונית מגבירה תחלואה נשימתית לרבות מחלקות דלקתיות וממאירות.

מעבר לפגיעה של כל מזהם כימי, יש השפעה מיצרפית לשילוב ביניהם. לתוצרי פליטה אלו יש השפעות מצרפיות ומאגברות (סינרגיות). גם במישור הכימי עצמו, חומרי הפליטה יוצרים ריאציה ואינטראקציה זה עם זה ומחמירים את מגוון החומרים הרעילים בחשיפה. למשל, תחמוצות הגופרית והחנקן הופכות באוויר לחלקיקים PM המגבירים עוד את עומס ה-PM. תחמוצות חנקן תורמות גם להיווצרות אוזון. במישור הקליני, ההשפעות הרעילות, לרבות הנזק העצבי, ההחמרה הדלקתית והסיכון הקרצינוגני, מתגברים כאשר כל חומר פליטה רעיל תורם את חלקו, ויחד נוצר אפקט מצטבר ומאגבר.

אפידמיולוגיה ויחס מנה-תגובה⁸⁻³⁰

אין סף חשיפה "בטוח" ידוע לחלקיקים עדינים באוויר PM. אפילו בריכוזים נמוכים נצפו השפעות בריאותיות, והסיכון עולה בצורה כמעט לינארית עם עלייה בריכוז ומשך החשיפה. סקירה שיטתית שבוצעה עבור ארגון הבריאות העולמי ואיחודה תוצמאות של 107 מחקרים מצאה כי כל עלייה מתמשכת בריכוז PM_{2.5} של 10 מק"ג למ"ק מעלה סיכון תמותה ב-8% (Chen J, Hoek G. Environ Int. 2020). מחקר מעודכן משנת 2024 מחזק הערכה זו (Orellano P, et al. Int J Public Health. 2024). בחלוקה פרטנית יותר, תמותה ממחלות לב עולה ב-11-13% על כל עלייה מתמשכת ב-10 מק"ג למ"ק של החלקיקים בקוטר 2.5. תמותה משבץ מוחי עולה ב-9%. תמותה ממחלות ריאה חסימתיות כרוניות עולה ב-15%, ותמותה מממאירות סרטן עולה ב-9%. בנוסף נמצא כי הסיכון לתמותה מאלצהיימר עולה פי כמעט 5 (Zang ST, et al. Sci Total Environ. 2022).

חשיפה קצרת טווח ל-PM_{2.5} גם היא גוררת עלייה בתמותה. במחקר רחב על 652 ערים בעולם נמצא כי עלייה בריכוז היומי של 10 מק"ג למ"ק מעלה תמותה יומית צמודה ב-0.68% (Liu C, et al. N Engl J Med. 2019). סקירה שיטתית ומטה אנליזה אחרת מצאה כי עלייה קצרת טווח בריכוז PM_{2.5} של 10 מק"ג לק"ג מעלה סיכון לתמותה יומית צמודה של 0.65% (Orellano P, et al. Environ Int. 2020). כך שהמחקרים עולים בקנה אחד.

מחקר נוסף מ-2023 שפורסם בכתב העת science קבע כי חשיפה ל-PM_{2.5} מפליטות פחם מעלה פי 2.1 את הסיכון לתמותה יותר מ-PM_{2.5} שנפלט ממקורות אחרים (Henneman L, et al. Science 2023). המשמעות היא שהחלקיקים הנפלטים מבעירת הפחם הם רעילים מחלקיקים בקוטר דומה ממקורות אחרים כמו סופות חול. הסיבה היא בגלל החלקיקים מהפחם נושאים עליהם יותר רעלים וחומרים מסוכנים.

ההשפעה על התחלואה של עליות בריכוז PM_{2.5} גם היא משמעותית. כל עלייה בריכוז של חומר פליטה זה ברמה של 10 מק"ג למ"ק, מעלה סיכון לשבץ מוחי ב-7% במוצע. הסיכון לסרטן ריאות עולה ב-11% במוצע, והסיכון למחלות נשימה בכלל עולה פי מעל 2 (Zang ST, et al. The Science of the Total Environment. 2022). הסיכון למחלות לב עולה גם בחשיפה קצרה לחלקיקים הללו. על כל 10 מק"ג למ"ק, יש עליה ב-1-2% במחלות לב ואירועים לבבים חריפים (Sethi Y, et al. European Journal of Preventive Cardiology. 2026).

יש השפעה גם על ההיריון. חשיפה ל-PM_{2.5} היא הסיבה לעד 7.8% מתמותת עוברים בכל העולם (Yang X, et al. Chemosphere. 2022).

חלקיקים באוויר PM מגבירים תחלואה לבבית ונשימתית. נמצא כי עלייה של 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ בריכוז PM_{2.5} גורמת לעלייה של 2.6% באשפוזים יומיים בשל מחלות לב וכלי דם, לצד עלייה באשפוזים בשל התקפי אסתמה ומחלות ריאה. חשיפה כרונית לחלקיקים באוויר נקשרה גם לעלייה בהארעות ברונכיטיס כרונית, ירידה בתפקוד ריאתי והתפתחות אסתמה בילדים. למעשה, זיהום אוויר חלקיקי הוא גורם משמעותי למחלות כרוניות: ארגון הבריאות העולמי מעריך כי בשנת 2019 זיהום האוויר (בעיקר חלקיקים עדינים) גרם לכ-4.2 מיליון מקרי מוות מוקדם בעולם, מתוכם 68% ממחלות לב וכלי דם (התקפי לב ושבץ), 14% ממחלות ריאה כרוניות, 14% נוספים מזיהומים חדים בדרכי הנשימה ו-4% מסרטן ריאה.

חשיפה לדו-תחמוצת החנקן (NO₂) מגבירה תחלואה ותמותה. לגבי תמותה מכל סיבה, כל עלייה של 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ בריכוז השנתי הממוצע מקושרת לעלייה של 4-5% בסיכון לתמותה. חשיפה קצרת טווח לתחמוצות חנקן בראשן NO₂ גוררת גם היא עלייה בתמותה ותחלואה. בארה"ב נמצא כי עלייה יומית בריכוז NO₂ של 10 מק"ג למ"ק גוררת תמותה בטווח 0.18-0.48 מקרים על כל מיליון לכל יום כזה (Marb A, et al. Environmental Pollution 1987). במחקר בכמעט 400 ערים ברחבי העולם נמצא כי עלייה יומית בריכוז NO₂ של 10 מק"ג למ"ק מעלה תמותה בשיעור ממוצע של 0.46% ביום למחרת (Meng X, et al. BMJ 2021). כל עלייה של 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (כ-2 ppb) בריכוז השנתי של חנקן דו חמצני מעלה את הסיכון להתפתחות אסתמה בילדות ב-13%. אומדנים גלובליים עדכניים מעריכים כי עד 4 מיליון מקרי אסתמה חדשים בילדים מדי שנה נגרמים מחשיפה ל NO₂ בעולם. כ-13% מכלל מקרי האסתמה בילדים מיוחסים לזיהום זה. גם בריכוזים הנמוכים מהתקן השנתי של 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ נצפתה עלייה בסיכון לאסתמה. בנוסף, הגז מחמיר דלקות סימפונות, מעלה שיעור ביקורי מיון עקב קשיי נשימה, ונמצא כקשור להופעת מחלות ריאה כרוניות לאורך שנים. גם באופן משני נוצרת פגיעה ורעילות. (Chen Z, et al. Indoor Air. 2022). תחמוצת החנקן מהווה מרכיב מפתח ביצירת אוזון בגובה הקרקע, ואוזון בעצמו לנזק ריאתי. שילוב של ריכוזי NO₂ גבוהים עם שמש מוביל לעלייה מוגברת בריכוזי אוזון, שמעלים אשפוזים עקב אסתמה ובעיות נשימה. עליה של 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ בריכוז האוזון בממוצע השמונה-שעתי, מקושרת לעלייה של כ-0.3% - 0.5% בתמותה היומית הכוללת.

גם חשיפה לגופרית דו-חמצנית (SO₂) מעלה שיעורי תחלואה ותמותה ככל שהחשיפה מתמשכת ועולה. יש עלייה בתמותה יומית עקב חשיפה אקוטית. כל עלייה של 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ בריכוז היממתי (24 שעות) של גופרית דו חמצנית מעלה את התמותה הכללית ב-0.6% (Orellano P, et al. Environment International. 2018 ; International. Wang L, et al. Environment International. 2018). עלייה מתמשכת וחשיפה כרונית לריכוזים מוגברים (לא יממתיים) מעלה עוד יותר את התמותה בשיעור עד 1.4%, בעיקר באוכלוסייה מבוגרת. עלייה של 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ בריכוז היממתי (24 שעות) של SO₂ מגבירה את הסיכון לאשפוז בגין מחלות נשימה ב-1% עד 2.5%, בילדים ובחולים במחלות נשימה. תחמוצת הגופרית מעלה גם סיכון למחלות ריאה כרונית. אין סף ידוע שבו SO₂ אינו מזיק. אפילו ריכוזים מתחת לערך היעד השנתי עלולים להגביר תחלואה בפרט באוכלוסיות רגישות.

מבחינת מתכות כבדות, חשיפה לכספית גורמת להתפתחות קוגניטיבית, כאשר כל עלייה של 1 ppm בריכוז הכספית שנמדד בשיעור של האם (מדד לחשיפה עוברית) מקושרת לירידה של כ-0.18 נקודות IQ בילד. החשיפה האמהית קשורה בחשיפה נשימתית, וממנה לעובר. עליית הסיכון לממאירות משנית לחשיפה למתכות מחושבת לפי מקדם סיכון לכל יחידת חשיפה (במקרה זה בנשימה), הנקרא IUR או inhalation unit risk. עבור ארסן מדובר בתוספת סיכון לכל החיים של ממאירות ריאה של 0.43% על יחידת חשיפה הנשימתית לריכוז עודף של 1 מק"ג למ"ק לכל החיים. עבור כרום שש-ערכי מדובר בערך של 1.8%, ועבור קדמיום זה 0.18%.

עופרת היא רעילה ללא סף תחתון בטוח. כל חשיפה לעופרת כרוכה בסיכון עולה לנוירוטוקסיות.

לממסים האורגניים (פחמימנים אורמטיים/מורכבים/פוליציקליים נדיפים) הנפלטים ונספחים על החלקיקים בזיהום המשני מבעירת הפחם, יש גם השפעה מזיקה ישירה על תמותה ותחלואה. על כל עלייה ברבעוני ריכוז החשיפה לפחמימנים האורגניים במהלך ימים בודדים, יש עלייה של כ-5% באשפוזים בגלל מחלות לב, וכ-6% בגלל שבץ מוחי (Tian Y, et al. Ambient Journal of Hazardous Materials. 2025).

כאשר סוכמים את כל ההשפעות של פליטות תחנת כח פחמית והשלכות על הבריאות לאורך זמן, מקבלים עליות של עשרות אחוזים בתמותה ובתחלואה של האנשים הנחשפים. התמותה עולה ב-50% לערך (פי 1.5 בערך). תחלואה לבבית עולה ב-40%, תחלואה נשימתית ב-47%, מחלות ופגיעות במערכת העצבים ב-34%, וממאירות בדרכי נשימה בכמעט 60% (Minichilli F, et al. The Science of the Total Environment.) (2019).

סיפי בטיחות ותקנים

התקנים מתחלקים לערכי פליטה (מה מותר לארובה לפלוט) וערכי סביבה (מה הריכוז המותר באוויר שהציבור נושם). יודגש שוב, כי גם מתחת לסיפים והערכים בתקנות, עדיין קיים סיכון בריאותי. ארגון הבריאות העולמי בשנת 2021 החמיר את המלצותיו, בהתבסס על ראיות כי נזק בריאותי מתרחש גם בריכוזים נמוכים מאוד, וקבע סף חשיפה ממוצע שנתי ל- PM2.5 של $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ול- NO₂ של $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. בהתאם הותאמו תקנים בעולם. קיימת מגמה להמשיך לכוון להפחתת הערכים והתקנים כי גם כיום יש סיכון מתחת לערכים שבתוקף. חוק אוויר נקי ותקנים בישראל מסדירים את התקנים והערכים המתאימים בארץ. ראו להלן ערכי סביבה רלוונטיים מתוך חוק אוויר נקי בישראל.

ערכי סביבה מתוך חוק אוויר נקי (חומרים נבחרים)

מספר חריגות שנתי מותר	פרק זמן נתון	ריכוז ממוצע מרבי במק"ג/מ"ק	נוסחה כימית	המזהם	מס' סידורי
10	שמונה שעות	140	O ₃	Ozone	1. אוזון
8	שעה	350	SO ₂	Sulfur Dioxide	2. גפרית דו-חמצנית
4	יממה	50			
	שנה	20			
	חצי שעה	940	NO _x	Nitrogen Oxides (as NO ₂)	12. תחמוצות חנקן (מחושבות כ- NO ₂)
	יממה	560			
8	שעה	200	NO ₂	Nitrogen Dioxide	13. חנקן דו-חמצני
	שנה	40			
	יממה	130	P.M.10	Respirable Particulate Matter	18. חומר חלקיקי עדין מרחף שקוטר חלקיקיו קטן מ-10 מיקרומטר
	שנה	50			
	יממה	37.5	2.5 P.M.	Respirable Particulate Matter	19. חומר חלקיקי עדין מרחף שקוטר חלקיקיו קטן מ-2.5 מיקרומטר
	שנה	25			

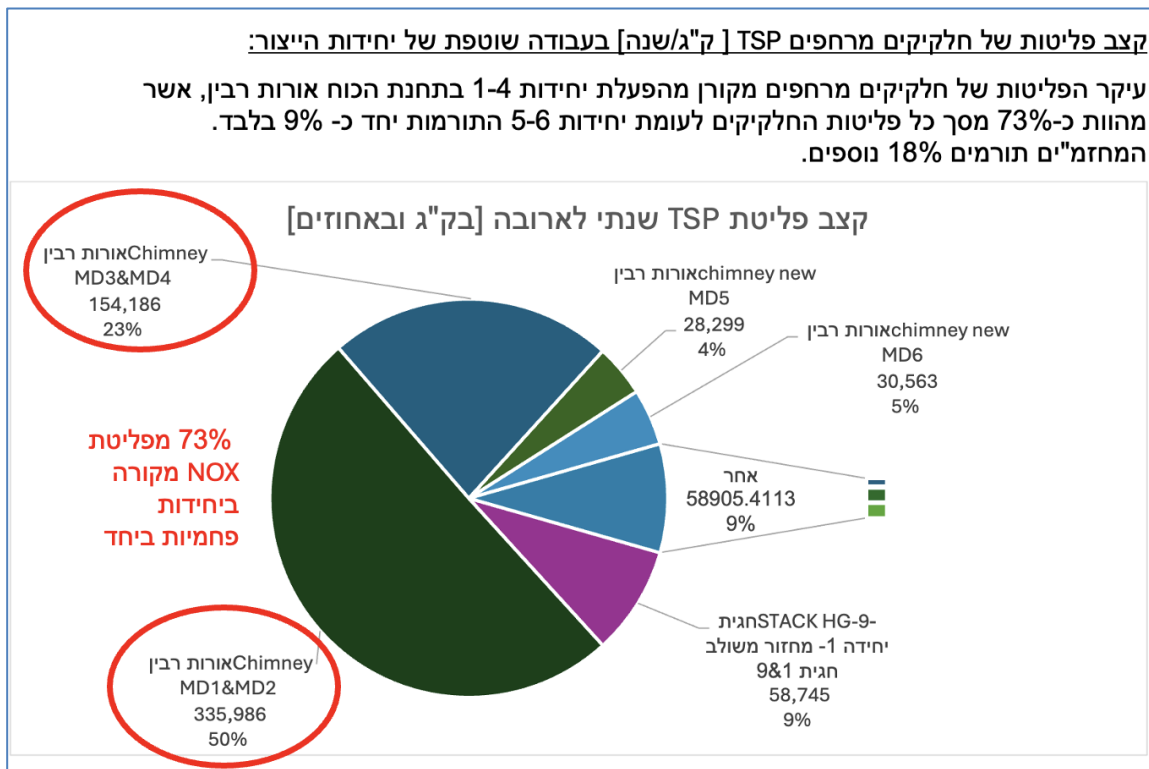
טבלה מרכזת לערכי יעד וסביבה:

מזהם	זמן מיצוע	ערך יעד (חוק למ"ק אוויר נקי) מק"ג	ערך סביבה (חוק למ"ק אוויר נקי) מק"ג
PM2.5 (חלקיקים עדינים)	שנתי	5	25
	יממתי	15	37.5
PM10 (חלקיקים גסים)	שנתי	15	50
	יממתי	45	130
NO2 (דו-תחמוצת החנקן)	שנתי	10	40
	יממתי	25	
	שעתי	200	200
SO2 (דו-תחמוצת הגופרית)	שנתי	40	20
	יממתי		50
	שעתי	20	350
	10 דקות	500	
O3 (אוזון)	8 שעות	100	140 מותרות עד 10 חריגות בשנה

תיאור וניתוח נתוני ניטור

מתוך מסמך האיגוד לאיכות הסביבה [נתוני יחידות 1-4 בתחנת הכוח אורות רבין בהשוואה ליחידות ייצור אנרגיה נוספות במרחב האיגוד - דצמבר 2025], ניתן ללמוד כי היחידות הפחמיות 1-4 פעלו בהיקף של רבע משעות הייצור בשנת 2024 היו אחראיות ל-81% מפליטות NOx, 85% מפליטות SO2 ולכ-73% מסך פליטות חלקיקים PM בשנת 2024 מכלל הפליטות בתחנות אורות רבין, אורות פנינה וחגית. כלומר החלק העיקרי בתוצרי הפליטה מתחנות הכוח המתאימות במרחב, הוא מההפעלה של היחידות הפחמיות הנדונות, גם כאשר פעלו רק בהיקף צנוע של הזמן.

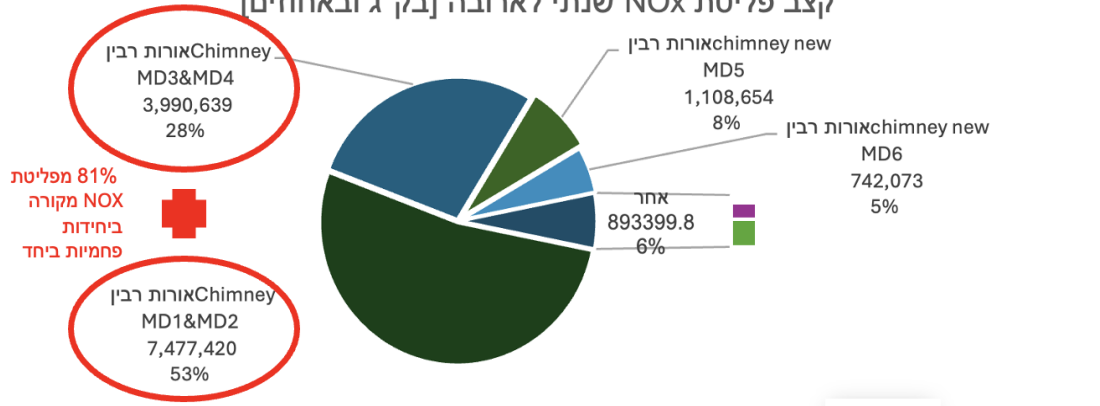
להלן המקטעים והגרפים ממסמך האיגוד :



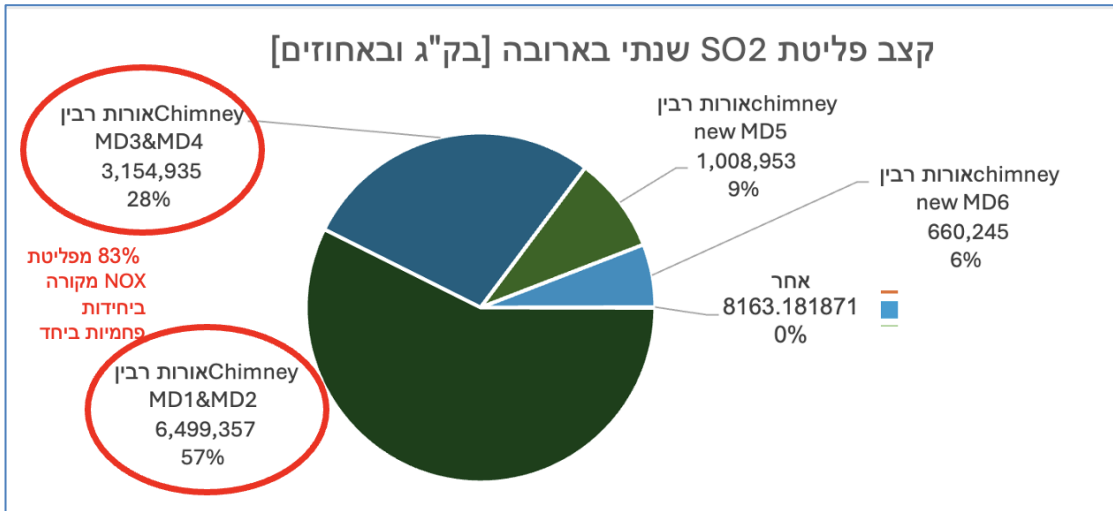
קצב פליטות תחמוצות חנקן [ק"ג/שנה] בעבודה שוטפת של יחידות הייצור :

מהנתונים שהתקבלו בדיווחים שנתיים של תחנות הכוח אורות רבין, אורות פנינה ודוד לוי (חגית) ניתן לראות שכמות הפליטות הגבוהה ביותר כ-80% התקבלה מהפעלת יחידות 1-4 בשנת 2024 לעומת יחידות 5-6 באורות רבין ויחידות הייצור מסוג מחז"מ בשאר תחנות הכוח.

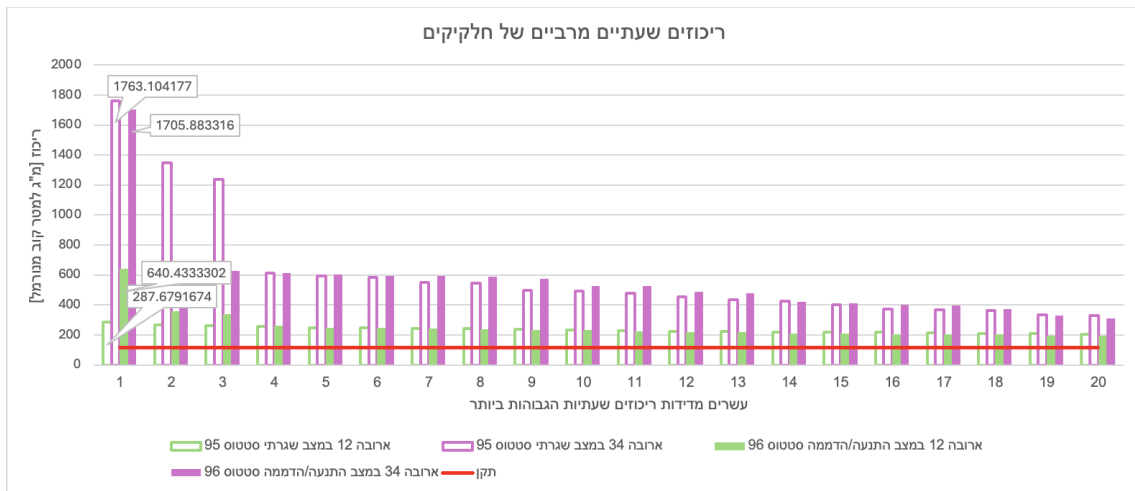
קצב פליטת NOx שנתי לארובה [בק"ג ובאחוזים]



קצב פליטת SO2 שנתי בארובה [בק"ג ובאחוזים]

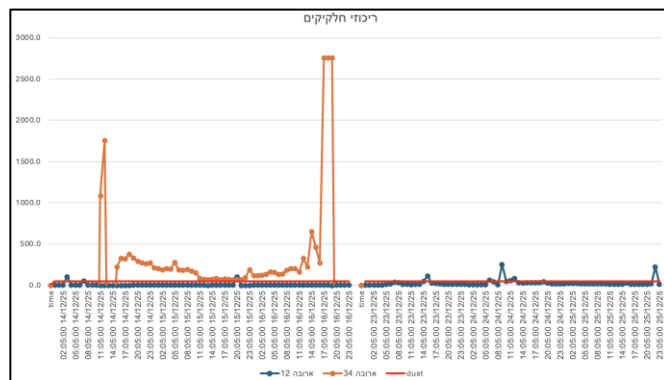


מבחנית פליטת חלקיקים (המרכיב הרעיל ביותר), במדידות הניטור ביציאה מהארובות של היחידות הפחמיות בשנת 2024, נמצאו חריגות חוזרות מעל התקן (קו אדום), ואף הרבה מעל התקן. ראו גרף להלן המציג את עשרים החריגות החמורות ביותר בריכוזים השעתיים (והיו עוד עשרות). יחידות 1,2 הפחמיות מקושרות לארובה מספר 12 ויחידות 3,4 הפחמיות מקושרות לארובה 34. ניתן להתרשם כי מדובר באותן ימים המיוצגים בגרף בחריגה בטווחים של פי 2 עד פי 18, בתלות בתצורת ההפעלה של היחידה הפחמית.



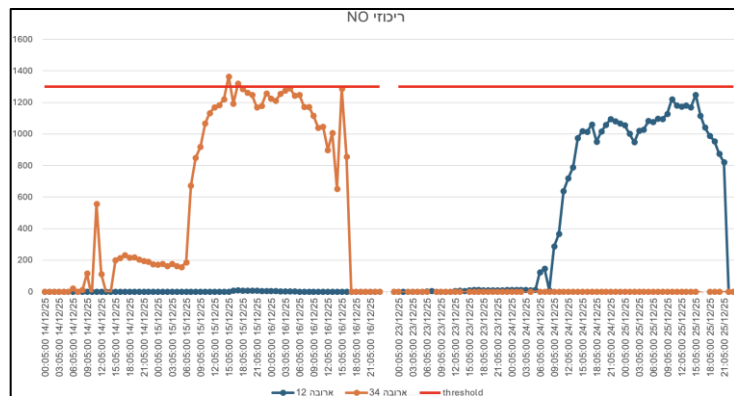
לגבי החריגות בריכוזי חלקיקים PM בשנת 2024, רק חלקן נמצאו קשורות לימי סופות חול. הריכוזים היממתיים הגיעו לחריגה מירבית של פי 2 לערך מערכי הסביבה לחלקיקים 10, PM2.5. מדובר בעליות של עשרות ומעלה של מק"ג למ"ק, הקשורות בעלייה משמעותית בסיכון לתמותה יומית ולתחלואה מגוונת כמתואר לעיל.

ריכוזי חלקיקים מנתוני ניטור רציף חודש דצמבר 2025: בשתי הארובות היו ריכוזים גבוהים מהתקן. בארובה 12 ריכוז שעתי מקסימלי נרשם מ"ג/מק"ב מתוך 7 ריכוזים שעתיים מעל התקן. בארובה 34 ריכוז שעתי מקסימלי נרשם 2758 מ"ג/מק"ב מתוך 55 ריכוזים שעתיים שנמדדו מעל התקן. להלן הגרפים.



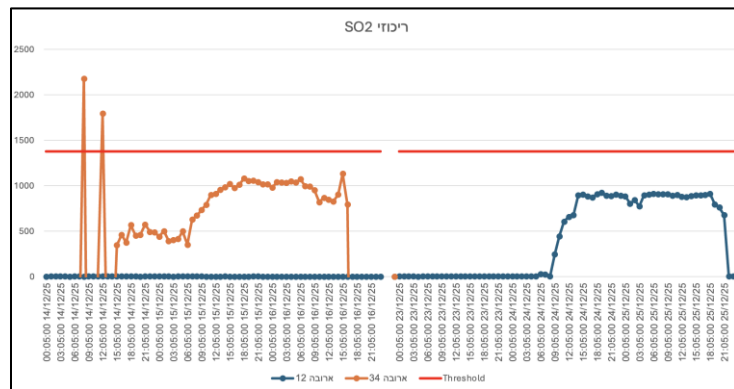
ריכוזי תחמוצות חנקן מנתוני ניטור רציף חודש דצמבר 2025

בשתי הארובות המקושרות ליחידות הפחמיות, הריכוזים היו צמודים לתקן השעתי. בארובה 12 ריכוז שעתי מקסימלי נרשם 1249 מ"ג/מק"ב [צמוד, אך ללא חריגה מהתקן]. בארובה 34 ריכוז שעתי מקסימלי נרשם 1365 מ"ג/מק"ב. סך הכל 2 ריכוזים שעתיים מעל התקן, כאשר רוב מדידות הפליטה צמודות לערך התקן. יש להדגיש כי התקן המדובר הוא מראש מתירני (כמוגדר בהיתר הפליטה החריג), ואינו מהווה בכלל סף בטיחות. כלומר גם פליטה מתחת לסף תקן זה - ודאי צמוד אליו – קשורה לתוספת זיהום משמעותית המרעילה את האוויר.



ריכוזי תחמוצות גופרית מנתוני ניטור רציף חודש דצמבר 2025

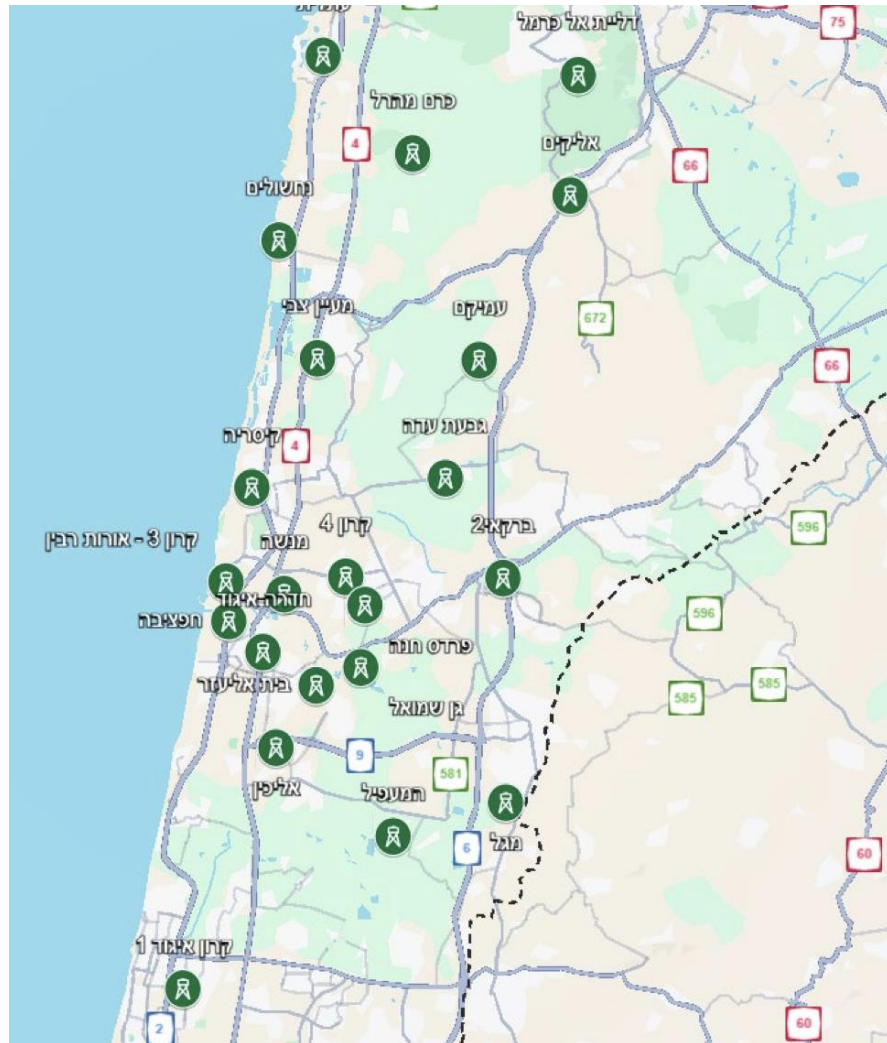
בשתי הארובות הריכוזים היו קרובים לתקן השעתי אך לא צמודים. בארובה 12 ריכוז שעתי מקסימלי נרשם 924 מ"ג/מק"ב, בארובה 34 ריכוז שעתי מקסימלי נרשם 2180 מ"ג/מק"ב עם 2 מדידות ריכוזים שעתיים מעל התקן.



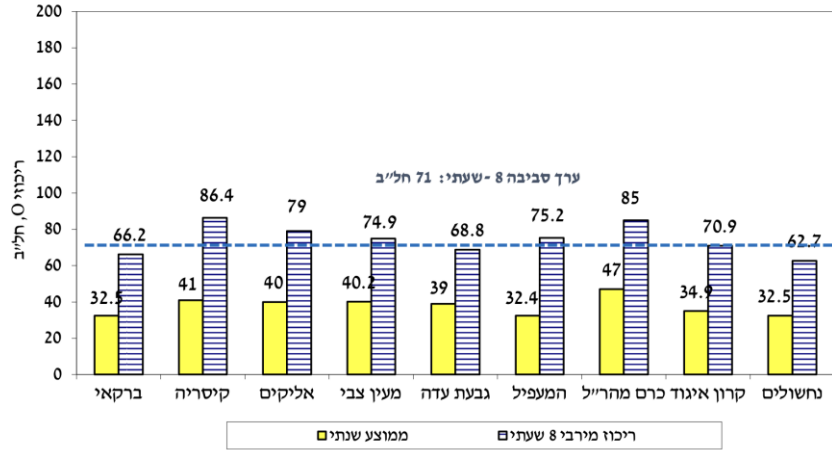
הניטור של הפליטות בארובה מהווה את האישור למקור הפליטות של התוצרים הנדונים, ומוכיח כי הפליטה מרובה (בגבול התקן או מעליו). מדובר בכמות פליטת חומרי רעל בעלת השלכה בריאותית פוטנציאלית, אם מגיעה לכדי חשיפה של בני האדם במרחב, בתלות בתנאי מזג האוויר והתכסית. זאת ניתן לבחון לפי נתוני תחנות הניטור של האוויר ביישובים במרחב.

מבחינת ניטור האוויר בתחנות במרחב, להערכת החשיפה הנשימתית של התושבים, לפי דו"ח 2024 של איגוד הערים, נמצאו חריגות בערכים 8-שעתיים של אוזון וחריגות בערכי חלקיקים עדינים באוויר. ריכוזי גופרית דו חמצנית ותחמוצות חנקן לא חרגו מערכי הסביבה, אך עדיין מדבור בריכוזים בעלי השלכה בריאותית. כלומר עלייה בריכוז גם אם לא חורגת מערך סביבה, גוררת תוספת לתחלואה ותמותה.

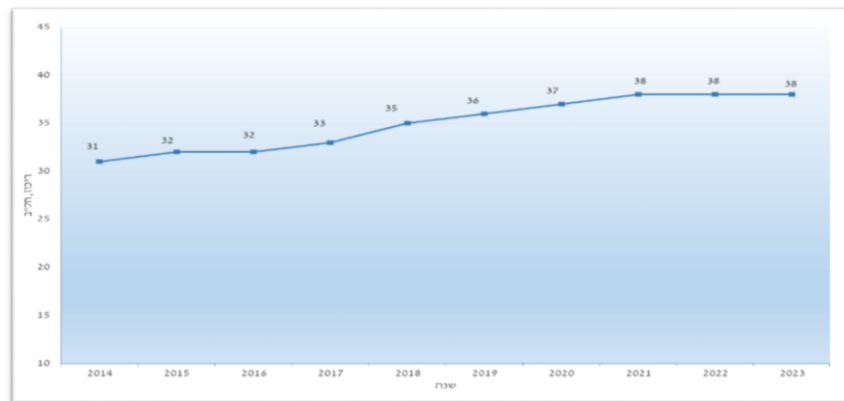
פריסת תחנות הניטור במרחב הנדון:



לגבי החריגות בערך 8-שעתי של אוזון, לפי דו"ח האיגוד לשנת 2024, הגרף הבא מציג אותן.

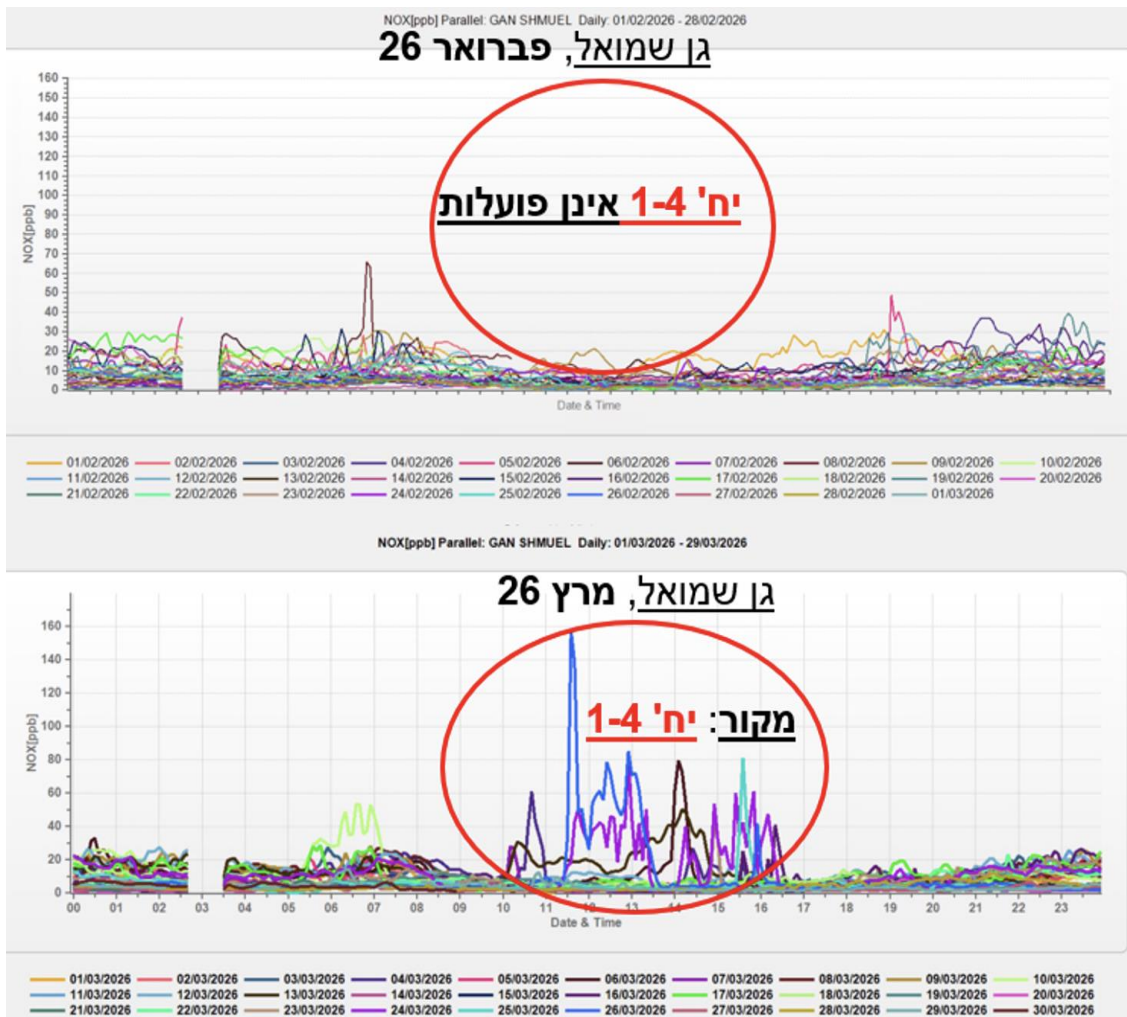


באופן כללי יש עלייה בריכוז הממוצע של אוזון במרחב לאורך השנים:



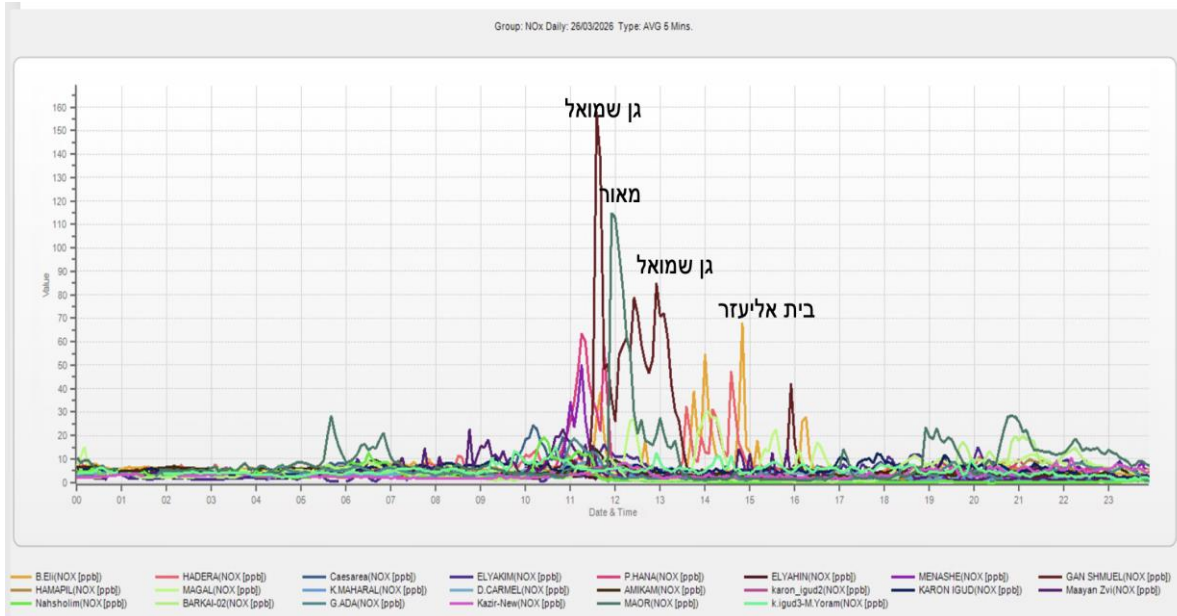
חשיפה לריכוזים ה-8-שעתיים החריגים של אוזון מעלה סיכון בריאותי של החמרה נשימתית, התקפי אסתמה, החמרה במחלות לב, עלייה במספר ביקורי במיון ועלייה בתמותה מוקדמת. החריגה היא מעל 10 מק"ק למ"ק בריכוז מעל סף הערך ה-8 שעותי, והיא קשורה באומדן עלייה בתמותה היומית של מעל 0.5% בקרב הנחשפים.

תוספת הזיהום הסביבתי מהפעלת היחידות הפחמיות ניכרת מהנתונים העדכניים שנאספו על ידי האיגוד לאיכות הסביבה שרון-כרמל והוצגו לאחר מלחמת "שאגת האריי". בהשוואה בין פברואר 2026 (לפני המלחמה, ללא הפעלת היחידות) לבין מרץ 2026 (במהלך המלחמה, עת היחידות הפחמיות פעלו), היו עליות גבוהות בימי ההפעלה. להלן גרף של תחנת ניטור לדוגמה:



מהגרף ניכר כי בעיקר בשעות 10-16 היו בימים רבים במהלך מרץ עלייה בריכוזים של תחמוצות חנקן מרמה של 10-20 בטווח של 10-20 לקק (שווה ערך ל- 19-38 מק"ג למ"ק) לרמות בטווח 40-160 לקק (שווה ערך ל- 76-300 מק"ג למ"ק). תוספת הריכוז השעתי בימים אלו, בשעות הנדונות, היתה בטווח של בערך 60-260 מק"ג למ"ק.

הנתונים מצביעים כי בימי ההפעלה של היחידות הפחמיות יש עלייה במגוון תחנות הניטור במרחב בשעות מסוימות, כאשר התוספת של הריכוז היא של עשרות מק"ג למ"ק (כמוצג לעיל). להלן דוגמה מיום אחד של הפעלה מחודש מרץ 2026, כאשר התוספת קשורה ישירות בפליטות מתחנת אורות רבין.



לעליות המשמעותיות הללו בשעות המסוימות יש השלכה ישירה על עלייה בריכוז היממתי הממוצע. עליית ריכוז במהלך שעה-4 שעות של 60-260 מק"ג למ"ק, תבטא בעלייה ממוצעת יומית של 3-10 מק"ג למ"ק לפחות, באותם ימים.

דיון וסיכום

פליטות מתחנת כוח פחמית גורמות לפגיעה בריאותית נרחבת, והקשר הסיבתי בין הזיהום לתחלואה ולתמותה מבוסס היטב במחקר המדעי. החומרים הנפלטים הם רעילים וגורמים למגוון מחלות ופגיעות בריאותיות, כמפורט לעיל. ההשלכה היא תחלואה ותמותה עודפת, עם קשר סיבתי ישיר להפעלת היחידות הפחמיות, בתלות במנת החשיפה. כל עלייה בריכוז המזהמים באוויר לרבות חלקיקים PM, גזי גופרית וחנקן, פחמימנים אורגניים ומתכות כבדות, מובילה לעלייה במספר החולים והנפטרים. האפקט הזה קיים גם בריכוזים נמוכים, וגם אם אין חריגה מערכי סביבה. תוספת הריכוזים בכל מקרה מהווה פגיעה חמורה בבריאות הציבור שכרוכה בתוספת תמותה ותחלואה.

בישראל מייחסים כמה אלפי מקרי תמותה מוקדמת כל שנה לזיהום אוויר מתוך עשרות אלפי מקרה תמותה מכל הסוגים כל שנה במדינה. לפי מחקר עדכני שפורסם ב- Israel Journal of Health Policy Research במרץ 2026, בשנים 2015-2023 היו כל שנה 4,461-6,166 מקרי תמותה מוקדמת בגלל חשיפה לזיהום אוויר. זאת מתוך אוכלוסייה של כמעט 10 מיליון. מדובר בכ-10% מהתמותה בישראל. במרחב הנדון חיים במיליון תושבים (לפי דו"ח שנתי של איגוד הערים). שיעור התמותה הממוצע היומי בישראל הוא כ-15 מקרי תמותה לכל מיליון איש (נגזר מנתוני למ"ס על שיעור תמותה שנתי של 5.2 מקרים לכל אלף איש). לפי נתוני הניטור, יש עלייה של עשרות-מאות מק"ג למ"ק בריכוזי המזהמים הנפלטים מהתחנה בעת הפעלה בפחם באוויר הננשם על ידי תושבי המרחב, בשעות מסוימות ביממה. זה גוזר עלייה יומית ממוצעת בימי הפעלה בפחם של עד 10 מק"ג למ"ק של כל מזהם. תוספת התמותה היא כ-0.6-0.7% בתמותה היומית עבר כל מזהם. סך ההשפעה המצרפית מוערך בסביבות 2-3% תוספת לתמותה היומית (למגוון חומרי הזיהום, שכל אחד מעלה תמותה ותחלואה). כלומר עלייה אבסולוטית של עד חצי מקרה תמותה עודפת ביום במרחב. עבור עשרות הימים בהם צפויות היחידות לפעול באמצעות פחם, נקבל עשרות מקרי תמותה עודפת ביום במרחב. (תוספת לאלפי מקרה התמותה המוקדמת הקשורה לזיהום אוויר כל שנה בישראל). בנוסף, צפויים כל שנה, בה יופעלו היחידות הפחמיות בהיקף המתוכנן, עשרות ומעלה של אבחנות חדשות של מחלות לב, כלי דם, שבץ, ריאות ודמנציה, ועלייה של כמה מאות ביקורי מיון או אשפוזים אקוטיים בכל החומרות עקב בעיות לב, כלי דם ונשימה. כמוכן, צפויה עליה מסויימת שקשה לכמת בדיוק במספר הסיבוכים בהיריונות של הנשים במרחב (לידות מוקדמות, הפלות ועוברים במשקל נמוך). מדובר בהיקף תמותה ותחלואה מגוון ומשמעותי. הנגזרת הכלכלית ("עלויות נלוות חיצוניות") עקב הפגיעה הבריאותית הזו על כלל המשק היא משמעותית, ויש שהיא עולה על התועלת הכלכלית בהפעלת היחידות הפחמיות.

ניתן לסכם כי מתן ההיתר להמשך הפעלת היחידות באמצעות פחם למאות שעות בשנה גוזרת באופן ישיר תמותה ותחלואה נוספות/עודפות של עשרות אזרחים, ילדים ומבוגרים, כל שנה.

על החתום,
 ד"ר אופיר לבון, MD, FEAPCCT, FACMT



מקורות

1. Feng S, Huang F, Zhang Y, et al. The Pathophysiological and Molecular Mechanisms of Atmospheric PM Affecting Cardiovascular Health Ecotoxicology and Environmental Safety. 2023; 249: 114444.
2. Souza MR, Hilário Garcia AL, Dalberto D, et al. Environmental Exposure to Mineral Coal and by-Products: Influence on Human Health and Genomic Instability. Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987). 2021; 287: 117346.
3. Vig N, Ravindra K, Mor S. Environmental Impacts of Indian Coal Thermal Power Plants and Associated Human Health Risk to the Nearby Residential Communities. Chemosphere. 2023; 341: 140103.
4. Amster E, Lew Levy C. Impact of Coal-Fired Power Plant Emissions on Children's Health International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019; 16(11): E2008.
5. Gonzalez-Villalva A, Rojas-Lemus M, López-Valdez N, et al. Metal Pollution in the Air and Its Effects on Vulnerable Populations. International Journal of Molecular Sciences. 2026; 27(2): 720.
6. Kumari M, Kumar A, Bhattacharya T. Assessment of Heavy Metal Contamination in Street Dust: Concentrations, Bioaccessibility, and Human Health Risks in Coal Mine and Thermal Power Plant Complex. Environmental Geochemistry and Health. 2023; 45(10): 7339-7362.
7. Låg M, Øvrevik J, Refsnes M, Holme JA. Potential Role of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air Pollution-Induced Non-Malignant Respiratory Diseases. Respiratory Research. 2020; 21(1): 299.
8. Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. Environ Int. 2020 Oct; 143: 105974.
9. Orellano P, Kasdagli MI, Pérez Velasco R, Samoli E. Long-Term Exposure to Particulate Matter and Mortality: An Update of the WHO Global Air Quality Guidelines Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Public Health. 2024 Sep 27; 69: 1607683.
10. Zang ST, Wu QJ, Li XY, Gao C, Liu YS, Jiang YT, Zhang JY, Sun H, Chang Q, Zhao YH. Long-term PM_{2.5} exposure and various health outcomes: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses of observational studies. Sci Total Environ. 2022 Mar 15; 812: 152381.
11. Liu C, et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. N Engl J Med. 2019 Aug 22; 381(8): 705-715.
12. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-

- cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020 Sep; 142: 105876.
13. Henneman L, Choirat C, Dedoussi I, et al. Mortality Risk From United States Coal Electricity Generation. *Science (New York, N.Y.)*. 2023; 382(6673): 941-946.
 14. Newman JD, Bhatt DL, Rajagopalan S, et al. Cardiopulmonary Impact of Particulate Air Pollution in High-Risk Populations. *Journal of the American College of Cardiology*. 2020; 76: 2878-2894.
 15. Zang ST, Wu QJ, Li XY, et al. Long-Term PM2.5 Exposure and Various Health Outcomes. *The Science of the Total Environment*. 2022; 812: 152381.
 16. Sethi Y, Mehta S, Padda I, Marlecha P, Moinuddin A. Impact of PM2.5 Exposure on Cardiovascular Diseases. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2026; :zwag005.
 17. Nakhjirgan P, Kashani H, Kermani M. Exposure to Outdoor Particulate Matter and Risk of Respiratory Diseases. *Environmental Geochemistry and Health*. 2023; 46(1): 20.
 18. Yang X, Wang Y, Zhao C, et al. Health Risk and Disease Burden Attributable to Long-Term Global Fine-Mode Particles. *Chemosphere*. 2022; 287(Pt 4): 132435.
 19. Huang S, Li H, Wang M, et al. Long-Term Exposure to Nitrogen Dioxide and Mortality The Science of the Total Environment. 2021; 776: 145968.
 20. Stieb DM, Berjawi R, Emode M, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies of Long Term Outdoor Nitrogen Dioxide Exposure and Mortality. *PloS One*. 2021; 16(2): e0246451.
 21. Meng X, Liu C, Chen R, et al. Short Term Associations of Ambient Nitrogen Dioxide With Daily Total, Cardiovascular, and Respiratory Mortality: Multilocation Analysis in 398 Cities. *BMJ*. 2021; 372: n534.
 22. Marb A, Ma Y, Nobile F, et al. Short-Term Exposure to Ambient Nitrogen Dioxide and Fine Particulate Matter and Cause-Specific Mortality: A Causal Modeling Approach in Four Regions. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*. 2025; 372: 126059.
 23. Chen Z, Liu N, Tang H, et al. Health Effects of Exposure to Sulfur Dioxide, Nitrogen Dioxide, Ozone, and Carbon Monoxide Between 1980 and 2019: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Indoor Air*. 2022; 32(11): e13170.
 24. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N. Short-Term Exposure to Sulphur Dioxide (SO₂) and All-Cause and Respiratory Mortality. *Environment International*. 2021; 150: 106434.
 25. O'Brien E, Masselot P, Sera F, et al. Short-Term Association Between Sulfur Dioxide and Mortality. *Environmental Health Perspectives*. 2023; 131(3): 37002.
 26. Lv LS, Xia X, Yang ZW, et al. Associations Between Sulfur Dioxide Exposure and Mortality, With a Focus on Cardiovascular Disease: A Multi-County Time Series Analysis in Central China. *BMC Public Health*. 2025; 25(1): 4130.

27. Wang L, Liu C, Meng X, et al. Associations Between Short-Term Exposure to Ambient Sulfur Dioxide and Increased Cause-Specific Mortality in 272 Chinese Cities. *Environment International*. 2018; 117: 33-39.
28. Tian Y, Zhang J, Huang C, et al. Ambient Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Cardiovascular Disease in China *Journal of Hazardous Materials*. 2025; 491: 137948.
29. Wang T, Song X, Xu H, et al. Combustion-Derived Particulate PAHs Associated With Small Airway Dysfunction in Elderly Patients With COPD. *Environmental Science & Technology*. 2022; 56(15): 10868-10878.
השפעה של phc
30. Minichilli F, Gorini F, Bustaffa E, Cori L, Bianchi F. Mortality and Hospitalization Associated to Emissions of a Coal Power Plant: A Population-Based Cohort Study. *The Science of the Total Environment*. 2019; 694: 133757.