



חשיפה לאוזון בעידן שינויי האקלים סיכון מתפתח בעולם העבודה

ד"ר כרמל רז-ממן

יו"ר ענף בריאות התעסוקתית

לשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל

כנס העשור הבא של הבריאות התעסוקתית – לאן פנינו מועדות?

אפריל 2025



חשיפה לאוזון בעידן שינויי האקלים – סיכון מתפתח בעולם העבודה

- אוזון – בסביבה ובתהליכי העבודה
- הסיכונים הבריאותיים בחשיפה לאוזון
- ניטור ומגמות ריכוזי אוזון – סביבתי ותעסוקתי
- השוואת ממצאי ניטורי אוזון סביבתיים לרמות מרביות מותרות
- אמצעי בקרה להפחתת החשיפה לאוזון בעבודה



מהו אוזון (O₃)?

- גז המורכב משלושה אטומי חמצן (O₃)

- מחמצן חזק ובלתי יציב

$$\text{O}=\text{O}^+-\text{O}^-$$

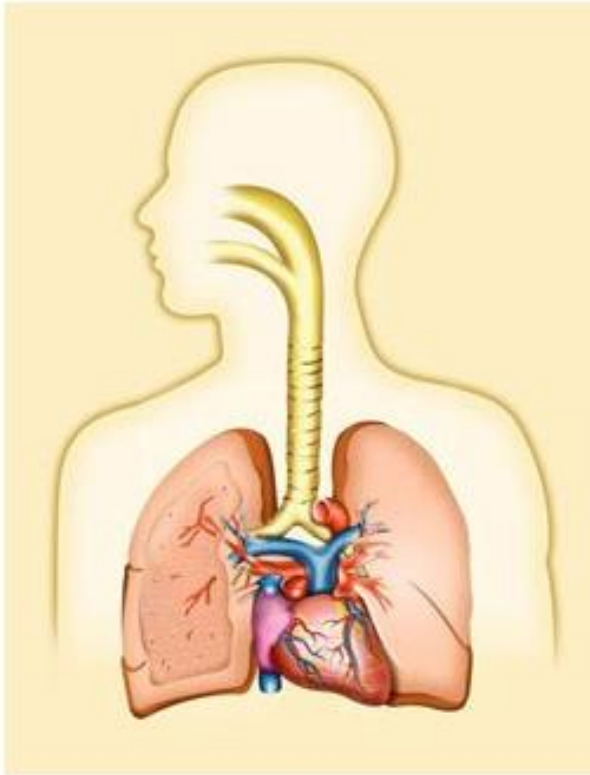
אוזון קיים בשתי שכבות באטמוספירה:

- סטרטוספירה- "האוזון הטוב", מסנן קרינת UV מהשמש

- טרופוספירה- "האוזון הרע", מזהם אוויר סביבתי

- אוזון נוצר גם בתהליכי עבודה בתעשייה

סיכונים בריאותיים בחשיפה לאוזון



Ozone is a powerful oxidant that can irritate the airways.

מקור: EPA - Health
Effects of Ozone in the
General Population

• חשיפה אקוטית

- שיעול
- גירוי במערכת הנשימה ובגרון
- קוצר נשימה
- ירידה זמנית בתפקוד הריאות
- עליה בסיכון להתקפי אסתמה

• חשיפה כרונית

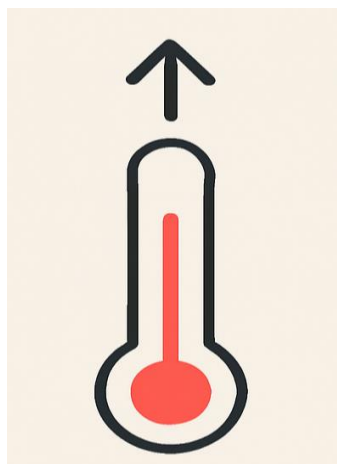
- ירידה בתפקודי הריאות
- החמרה של תחלואה נשימתית
- עשויה לתרום להתפתחות אסתמה

אוזון כמזהם סביבתי

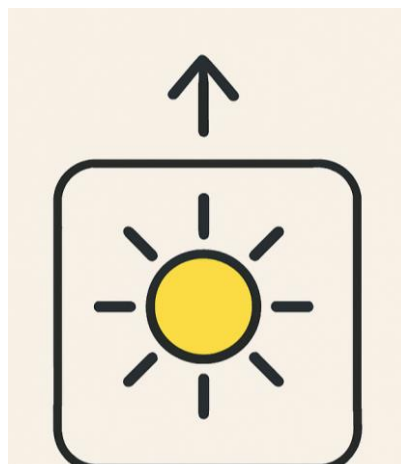
אוזון בגובה הקרקע הוא מזהם שניוני שאינו נפלט ישירות לסביבה, אלא נוצר כאשר תחמוצות חנקן ותרכובות אורגניות נדיפות מגיבות בתגובה פוטוכימית, שמתרחשת בנוכחות קרינת UV מהשמש. עלייה בטמפרטורה מאיצה את היווצרותו

ההתחממות הגלובלית צפויה להביא לעלייה בריכוזי האוזון

טמפרטורה: כאשר
הטמפרטורה עולה -
קצב היווצרות
האוזון עולה

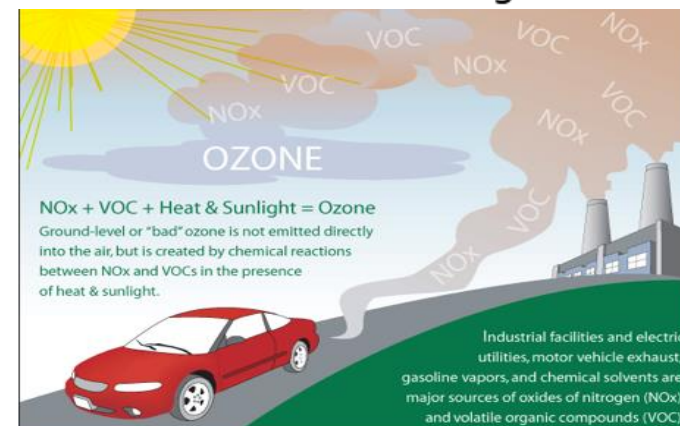


קרינת שמש
(UV): ימים
בהירים מעודדים
היווצרות אוזון



ריכוזי מזהמים ראשוניים: תחמוצות
חנקן (NO_x) ותרכובות אורגניות נדיפות
(VOC) שמקורם בעיקר בתחבורה,
תחנות כוח, בתי זיקוק, ומפעלים כימיים

$\text{NO}_x + \text{VOC} + \text{Heat \& Sunlight} = \text{Ozone}$



מקור: US EPA

אוזון כמזהם תעסוקתי

• שימוש ישיר באוזון:

- חיטוי בקבוקי שתייה ומכלי מזון חד-פעמיים במפעלים לייצור מזון ושתייה
- חיטוי משטחים
- חיטוי בריכות

• יצירת אוזון בתהליך העבודה:

- ריתוך - בתהליכי ריתוך כמו MIG ו-TIG נפלטת קרינת UV שמביאה להיווצרות אוזון
- חיתוך בפלסמה - קרינת UV מובילה להיווצרות אוזון
- דפוס – במדפסות לייזר ומכונות צילום מתרחשת פריקה חשמלית (Corona Discharge) לטעינת תוף ההדפסה הגורמת להיווצרות אוזון



ניטור אוזון סביבתי בישראל

- בשנת 2024 נמדד אוזון ב־78 תחנות ניטור ברחבי הארץ

- המדידה מתבצעת באופן רציף, כאשר קריאת ריכוז האוזון מוצגת כל 5 דקות

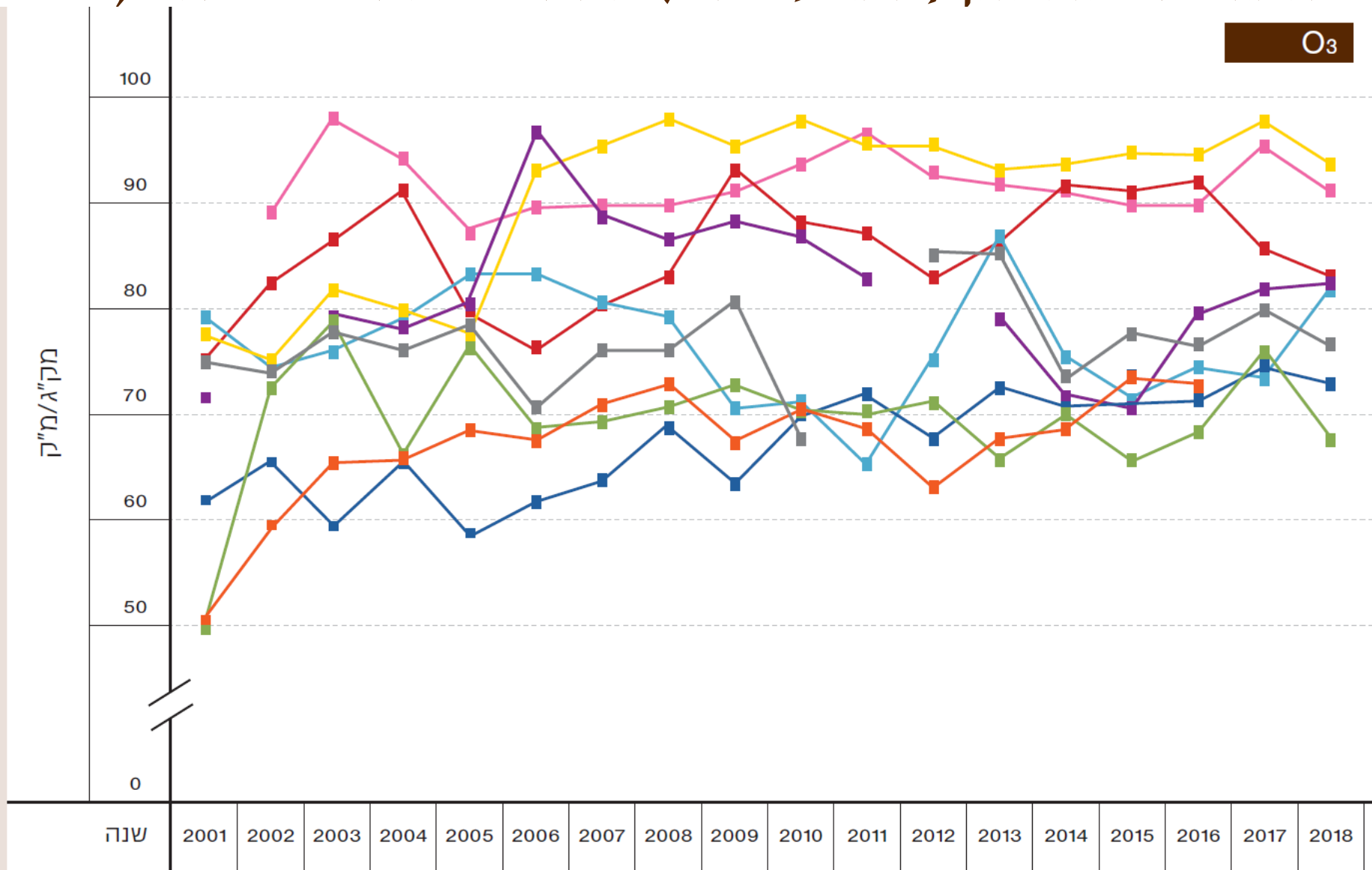
- שיטת המדידה – Ultraviolet photometry – בהתאם לתקן EN-14625



מגמות בריכוז אוזון (ממוצע שנתי) באתרים נבחרים בישראל, 2001-2018

O₃

מק"ג/מ"ק



מקרא:
 גליל מערבי
 גוש עציון
 ירושלים ספרא
 באר שבע
 מודיעין
 כרם מהר"ל
 גבעת המורה
 חיפה קריית שפרינצק

למרות הירידה במזהמים ראשוניים, (בהם תחמוצות חנקן) שנמדדה בתחנות ניטור האוויר בישראל, ריכוזי האוזון בגובה הקרקע לא פחתו בהתאם. ממצא זה מחזק את ההנחה שלפיה שינויי האקלים תורמים לעלייה בריכוזי האוזון

מקור: הקרן לבריאות וסביבה ומשרד הבריאות (2020) *בריאות וסביבה בישראל 2020*.

החשיפה הממוצעת לאוזון בישראל גבוהה במידה ניכרת מהממוצע העולמי, מהממוצע במדינות ה-OECD, ומהממוצע האירופי

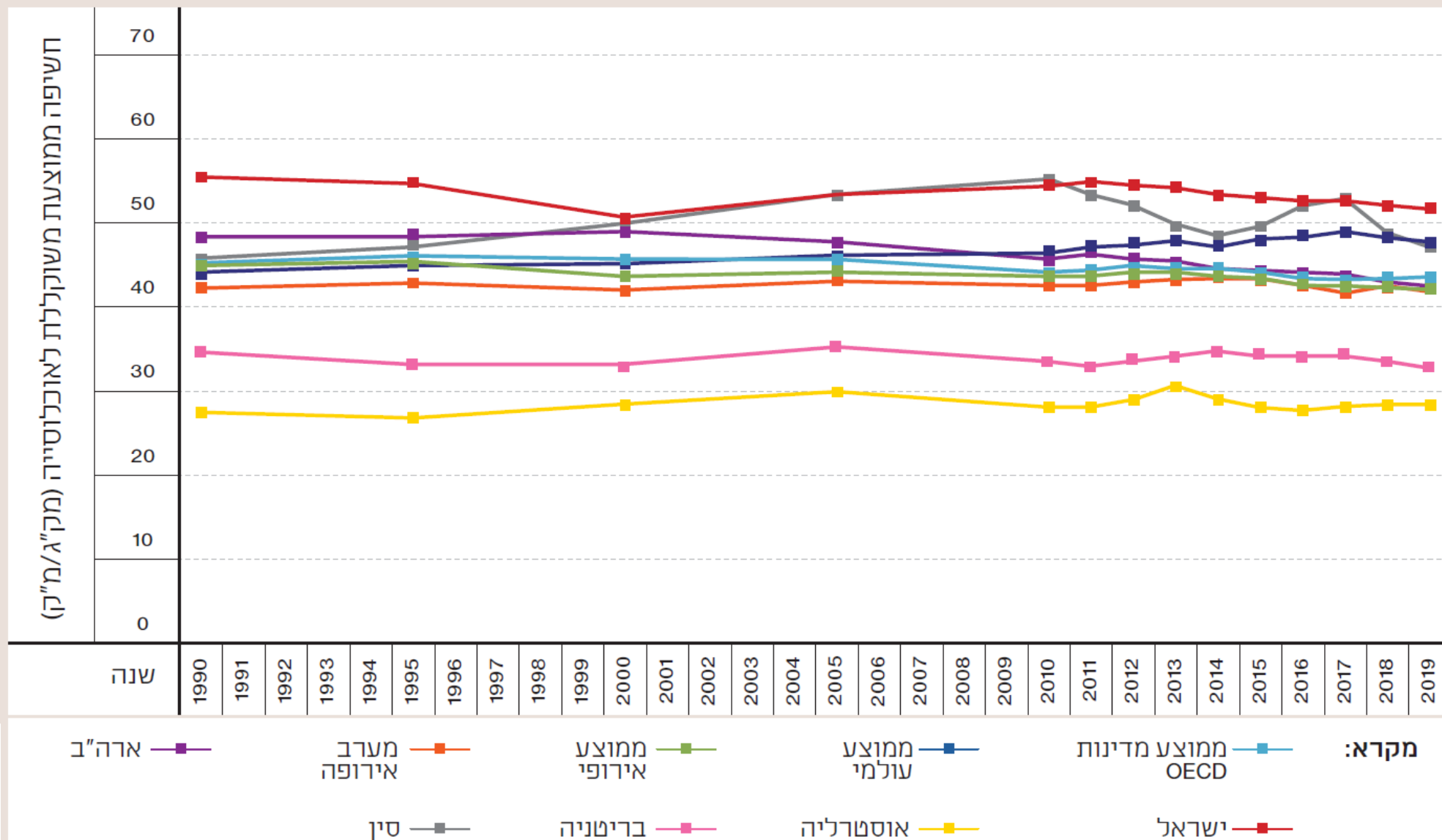
חשיפה ממוצעת לאוזון, משוקללת לאוכלוסייה במדינות שונות בעולם

→

תרשים 2

Global Health Data
Exchange 2020¹

במהלך שלושת
העשורים
האחרונים,
החשיפה לאוזון
בישראל נותרה
גבוהה מהממוצע
העולמי, האירופי
ומדינות
ה-OECD



מקור: הקרן לבריאות
וסביבה ומשרד הבריאות
(2020) בריאות וסביבה
בישראל 2020 .



רמות מרביות מותרות בחשיפה לאוזון – רמת חשיפה תלויה מאמץ-ACGIH

Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological
 Exposure Indices, ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

רמת חשיפה מרבית משוקללת מותרת (TLV-TWA)	עומס עבודה	
0.05 ppm	עבודה מאומצת (Heavy work)	
0.08 ppm	עבודה בעומס בינוני (Moderate work)	
0.10 ppm	עבודה קלה (Light work)	
0.20 ppm	כל סוג עבודה (קלה, בינונית או מאומצת) למשך ≥ 2 שעות	

קצב הנשימה משתנה לפי מאמץ, ככל שעובדים קשה יותר - קצב הנשימה עולה, יותר אוזון
 נכנס לריאות ולדרכי הנשימה = חשיפה גבוהה יותר- רמה מותרת נמוכה יותר.



הפחתת החשיפה לאוזון:

תקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סביבתי וניטור ביולוגי של עובדים
בגורמים מזיקים), תשע"א-2011

• **"גורמים מזיקים"** – גורמים כימיים ופיזיקליים מזיקים, הנמצאים במקום העבודה, ואשר
העובדים עלולים להיחשף אליהם בזמן העבודה והם רשומים **בספר**, בתוספת הראשונה
ובתוספת השנייה"

• **"הספר"** – Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical
Agents & Biological Exposure Indices – ACGIH

• במקום עבודה שבו נעשה שימוש בגורם מזיק, יפעל המעביד להורדת הסיכון לחשיפה לגורם
זה ככל האפשר

המעביד ינקוט את כל הפעולות הסבירות כדי – שלא יועבד עובד בחשיפה לגורם מזיק, מעבר
לערכי החשיפה המותרים

דוח מוניטור

בחר תצוגת דוח:

Excel גרף **טבלה**

בחר תקופת זמן:

יומי אתמול שבועי

חודשי שנתי **מותאם אישית**

מתאריך: 01/01/2024

משעה: 08:00

עד לתאריך: 31/12/2024

עד לשעה: 16:00

סוג: ממוצע

זמן בסיס תחנה: 5 דקות

זמן בסיס מחושב: 8 שעות

בחר מטרה:

הכל

בחר אזורים:

הכל

בחר בעלים:

הכל

בחר מוניטורים:

..Select

NO2 ☐

NOX ☐

Nh3 ☐

O3 ☒

PM10 ☐

PM2.5 ☐

RH ☐

Rain ☐

SO2 ☐

StWd ☐

TSP ☐

Temp ☐

Temp1 ☐

בחר תחנות:

☒ הכל ☒ הראה תחנות פעילות בלבד

..Select

אביגדור, אביגדור ☒

אור יהודה, אור יהודה ☒

אחוזת ברק, אחוזת ברק ☒

אחיסמך, אחיסמך ☒

אילת, בית ספר גולדווטר ☒

אלון שבות, גוש עציון ☒

אליקים, אליקים ☒

ארז, ארז ☒

<https://air.sviva.gov.il> **מקור:**

ניטור אוויר בישראל המשרד להגנת הסביבה

ממצאי ניטור אוזון סביבתי בישראל – 2024

• הנתונים הופקו מאתר מערך ניטור אוויר של

המשרד הגנת הסביבה

(<https://air.sviva.gov.il>)

• הנתונים מייצגים ממוצע מ-78 תחנות ניטור בישראל שבדקו ריכוזי אוזון סביבתי.

• במהלך 2024 נמצאו **143 ימים** שבהם ריכוז האוזון בין השעות **08:00–16:00** חרג מהרמה המרבית המשוקללת המותרת לעבודה מאומצת - 0.05 חל"מ ($98 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

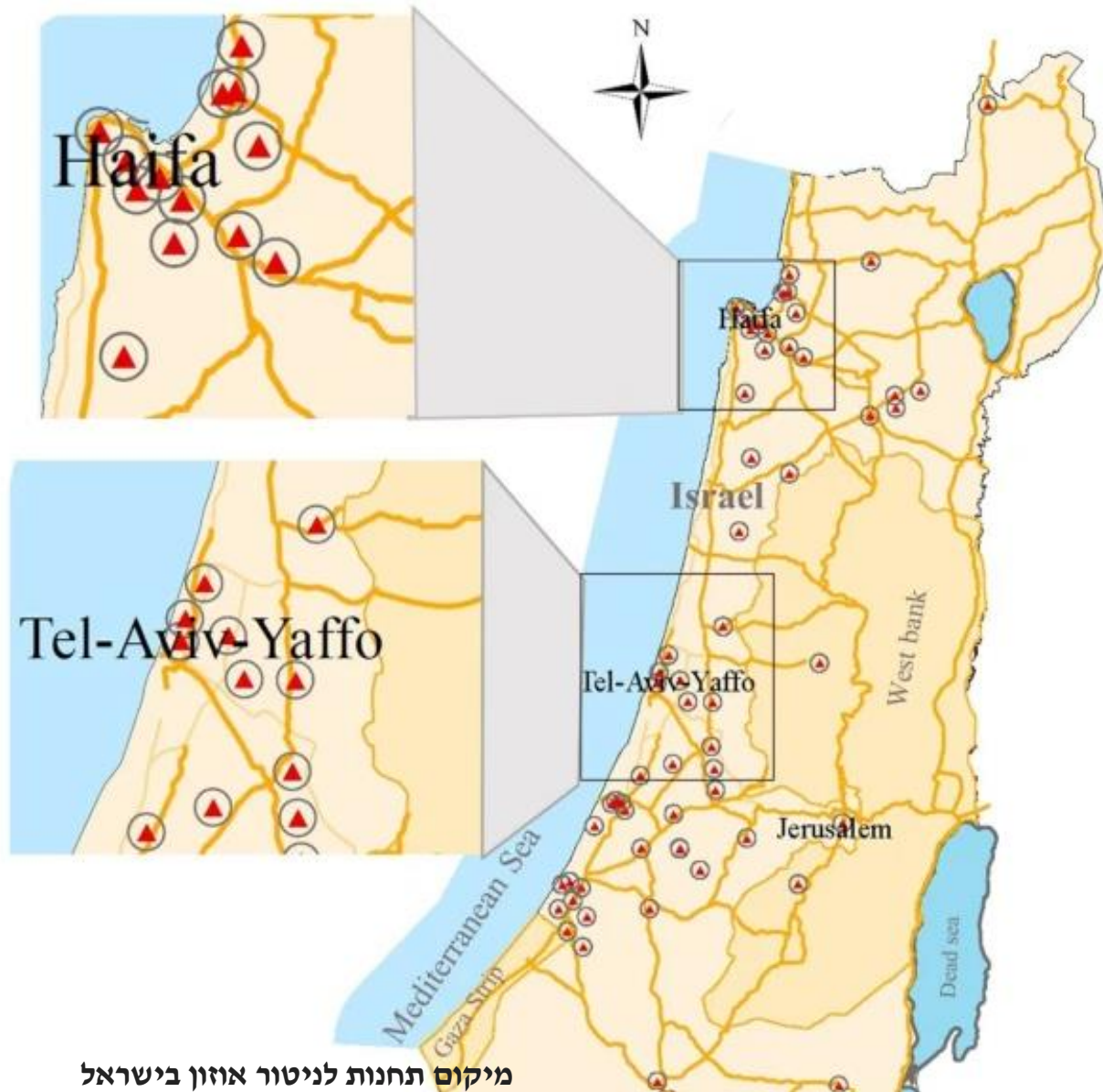
• הערך הממוצע שנמדד עמד על 0.06 חל"מ ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

ממצאי ניטור אוזון סביבתי בישראל- 2024

- תחנת הניטור בה נמדדו מספר החריגות הרב ביותר – **אור יהודה**, עברה נמדדו 228 ימים שחרגו מהרמה המרבית לעבודה מאומצת ו- 28 לעבודה בעומס בינוני.

- תחנות הניטור בהן נמדדו מעל 200 ימים שריכוזי האוזון חרגו מהרמה המותרת לעבודה מאומצת:

- בית שמש
- כרם מהר"ל
- לוזית
- קרית גת
- בני עטרות
- אשקלון
- עמק המעיינות
- שדרות

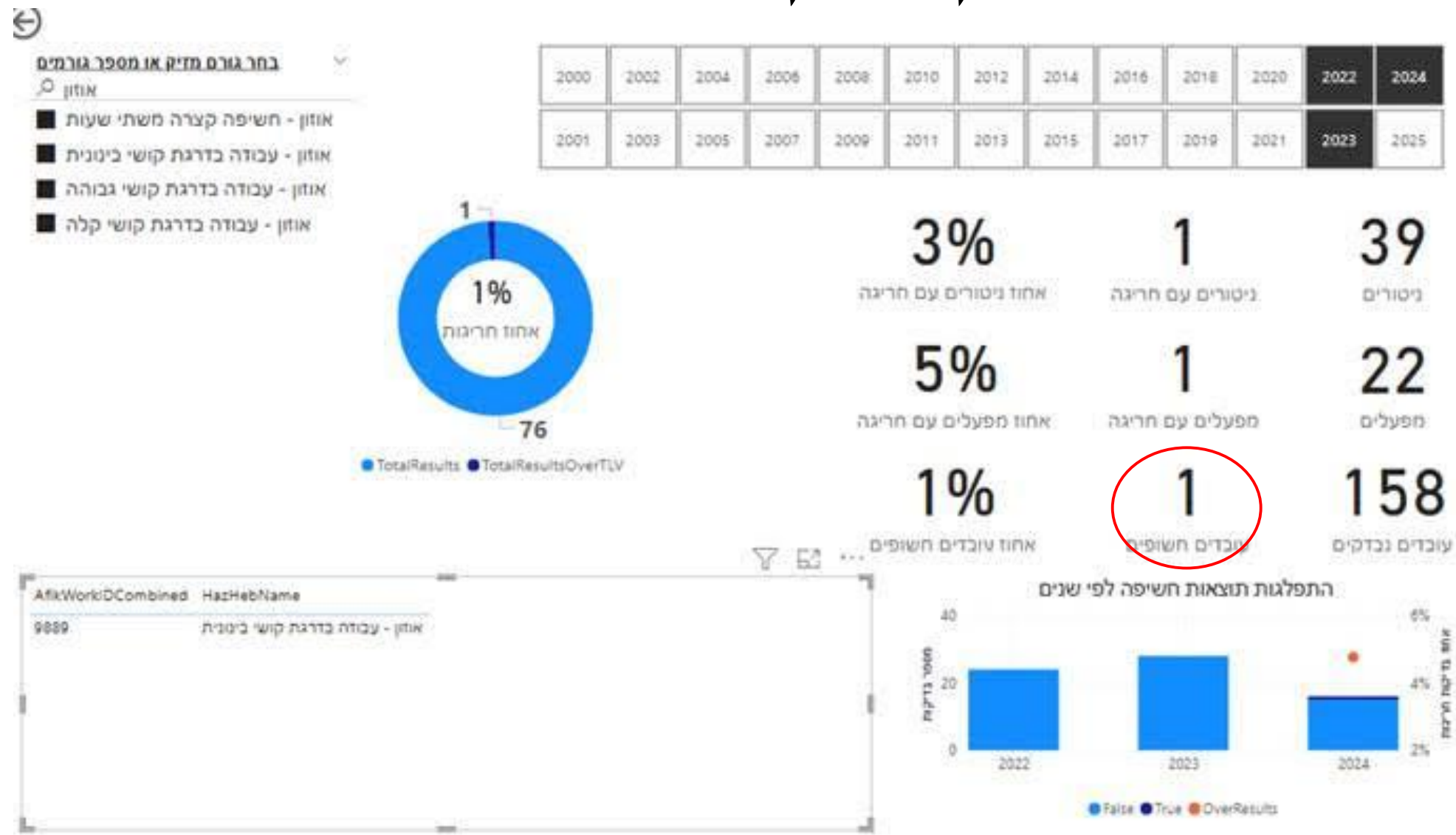


מיקום תחנות לניטור אוזון בישראל

מקור: Raz-Maman et al., 2024



נתוני ניטור אוזון במקומות העבודה בישראל



שיטה: OSHA ID-214, דיגום במסנן סיבי זכוכית מצופה בנתרן ניטריט, אנליזה בכרומטוגרפיה יונית

מדידת אוזון במפעלים בישראל

- בוצע בעיקר בתהליכים : חיטוי בקבוקים ומוצרי אריזה, דפוס, ייבוש ב-UV.
- מתוך 158 דגימות אישיות שנערכו בין השנים 2022-2024 נמצאה חריגה אחת בתהליך חיטוי בקבוקים במפעל למשקאות קלים.



1

עובדים חשופים

158

עובדים נבדקים

סיכום הממצאים – ריכוזי אוזון בסביבה בהשוואה לרמה מרבית מותרת

באחוז ניכר מהימים נמדדו חריגות מהרמה המרבית המשוקללת המותרת לחשיפה
לאוזון בעבודה מאומצת – ממצא המצביע על פוטנציאל לחשיפה עודפת בקרב עובדים
המבצעים עבודות תחת כיפת השמיים, בעיקר בחודשי הקיץ (Ozone season)

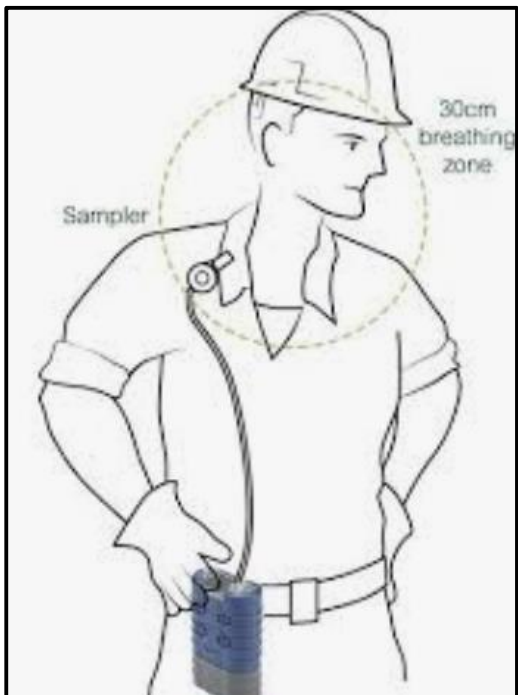


עליית הטמפרטורה הצפויה בעקבות שינויי האקלים עלולה להחמיר את החשיפה לאוזון, במיוחד אם לא
יפחתו ריכוזי המזהמים הראשוניים שגורמים להיווצרותו



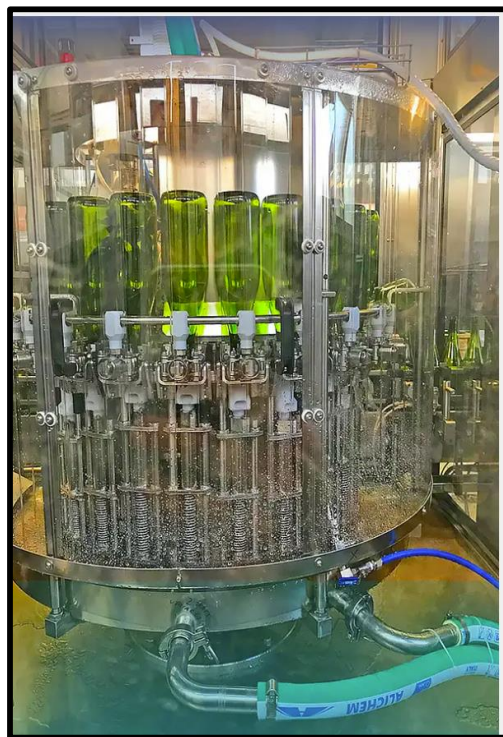
סיכום הממצאים- ריכוזי אוזון בתהליכי עבודה

על פי הנתונים שנאספו בתהליכי העבודה במפעלים עולה כי כמעט ולא נמצאו חריגות מהרמות המותרות לחשיפה לאוזון. עם זאת, הניטורים בוצעו בהיקף מצומצם והתמקדו במספר מוגבל של תהליכים



מקור:

<https://airsamplingsolutions.com>



מקור:

www.anseros.de/ozone-applications



מקור: <https://absoluteozone.com>

אמצעי בקרה לצמצום חשיפה לאוזון בעבודה - עבודות בסביבה החיצונית



• צמצום עבודות בחוץ בשעות השיא של אוזון, בעיקר בקיץ.

• העדפת בקרה מרחוק באמצעות מצלמות או אמצעים טכנולוגיים במקום שהייה בשטח

• מעקב אחר ריכוזי אוזון באפליקציית "אוויר



בסביבה"



אמצעי בקרה לצמצום חשיפה לאוזון בעבודה

□□ אוטומציה של תהליכי חיטוי באוזון

⊘ הפרדת האזור בו מבוצע שימוש באוזון מאזור השהייה של העובדים

שימוש במערכת יניקה מקומית בתהליכים בהם נוצר אוזון (כגון ריתוך)

↻ אוורור משרדים וחללים בהם מבוצע שימוש במדפסות לייזר ומכונות צילום

תחזוקת מערכות טיהור באוזון למניעת דליפות

שימוש בציוד מיגון נשימתי כאמצעי אחרון במידה ולא ניתן להפחית את

החשיפה בדרכים אחרות



סיכום

- ריכוזי האוזון צפויים לעלות עם ההתחממות הגלובלית
- ריכוזי האוזון בישראל גבוהים מהממוצע העולמי
- חשיפה לאוזון עלולה לגרום לתחלואה נשימתית
- קיים סיכום מוגבר לעובדים בחוץ בשעות היום בעיקר בימים חמים
- אוזון קיים גם בתהליכי עבודה במפעלים
- **קיימת חשיבות לנקוט באמצעים להפחתת החשיפה של עובדים לאוזון על מנת למנוע תחלואה**

