

יובל

הפקולטה להנדסה אזרחית
וסביבתית, הטכניון – מכון טכנולוגי
לישראל

דוד ברודאי

הפקולטה להנדסה אזרחית
וסביבתית, הטכניון – מכון טכנולוגי
לישראל

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

י וברודאי ד. 2020. זיהום אוויר
באזור מפרץ חיפה בעשרים השנים
האחרונות. אקולוגיה וסביבה **11**(3).



מצאי הפליטות באזור לפני תחילת שנות ה-80 אינו ידוע, אך סביר להניח כי עקב היקף הפעילות התעשייתית הנרחב וחוסר הבקרה על הפליטות, נפלטו לאוויר כמויות גדולות מאוד של מגוון רחב של מזהמים בתקופה זו | צילום: ניבה בן עמי

זיהום אוויר באזור מפרץ חיפה בעשרים השנים האחרונות

29 באוקטובר, 2020

גיליון סתיו 2020 / כרך 11(3)

[סקירות](#)

על קצה המזלג

- אחת הסוגיות המרכזיות בסדר היום הסביבתי בישראל היא זיהום האוויר במפרץ חיפה, אזור התעשייה הגדול בארץ, העתיר בתעשיות כימיות ופטרוכימיות ונמצא בסמיכות לאזורים עירוניים.
- קיימות מחלוקות בדבר תרומתם היחסית של התעשייה ושל התחבורה לזיהום האוויר, לרמת התחלואה העודפת הנגרמת מהזיהום, ולעתיד הפיתוח התעשייתי במפרץ חיפה.
- במאמר מצוין ההבדל החשוב בין הכמויות הגבוהות יחסית של המזהמים המרכזיים הנפליטים לאוויר לבין הריכוז הנמוך יחסית שלהם בו-ב-20 השנים האחרונות.
- הפעילות להמשך הורדת כמות הפליטות צריכה להתמקד, בין השאר, בהורדת ריכוזי התרכובות האורגניות הנדיפות ובצמצום פליטות מהנמל.
- המגמה העולמית והלאומית של צמצום משמעותי בייצור אנרגיה מדלקי מחצבים צריכה להיות הזרז שיביא לסגירת התעשיות פטרוכימיות הפועלות בקרבת ריכוזי האוכלוסייה במפרץ.

המערכת

תקציר

מאז שנות ה-30 של המאה הקודמת הייתה חיפה מוקד תעשייתי ובית לנמל הגדול בישראל. עובדה זו והתפתחות רשת הכבישים והרכבות המואצת באזור תרמו לפליטות רבות של מזהמים לאוויר. במאמר נסקרת הספרות הקיימת בנושא זיהום אוויר באזור מפרץ חיפה, מתוארת איכות האוויר באזור בשני העשורים האחרונים, ונידונים הגורמים השונים המשפיעים על ריכוזי מזהמי האוויר במפרץ חיפה. רמות זיהום האוויר הנמדדות באזור מפרץ חיפה כיום נמוכות יחסית לריכוזים הנמדדים באזורים אחרים בארץ, והיו כך לפחות בעשור האחרון. ניתן להסביר את הפער בין מצאי הפליטות הגדול באזור מפרץ חיפה ובין הריכוזים הנמוכים יחסית של מזהמי האוויר באזור בכיווני הרוח השכיחים ובתנאי הפיזור הגורמים למיהול טוב של פליטות שמקורן סמוך לקרקע (למשל תחבורה), בניגוד לפליטות מארובות (למשל מתעשייה), שאפיינו את שנות ה-80 וה-90 של המאה ה-20.

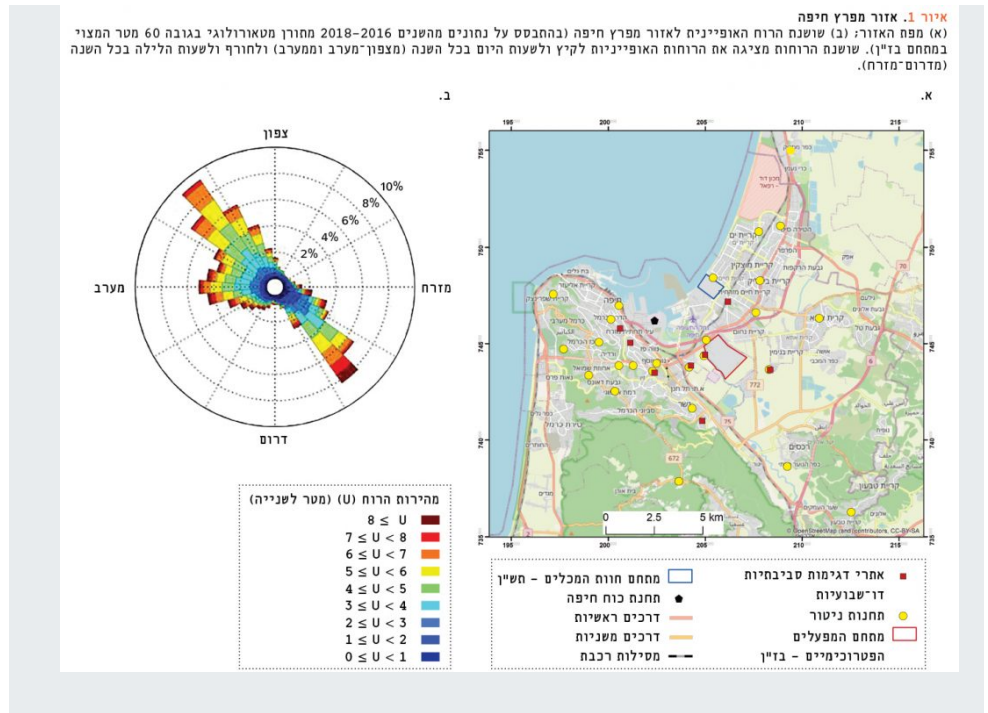
רקע

לקראת סוף המאה ה-19 ותחילת המאה ה-20, בעקבות הגעתם של הטמפלרים מגרמניה, התפתחו משמעותית התעשייה והתחבורה באזור מפרץ חיפה. גלי הגירה מהארץ ומחוצה לה הגדילו את אוכלוסיית האזור והפכו את חיפה מיישוב קטן למרכז עירוני. ירידת חשיבותו של נמל עכו עקב שיקוע סחף וחול והשלמת מקטע חיפה-בית שאן של מסילת הרכבת החיג'אזית בשנת 1903 הפכו את חיפה למרכז תעשייה ותחבורה אזורי. הבריטים שכבשו את חיפה ב-1918 וייעדו אותה לשמש מסוף יצוא לנפט ומרכז תעשייה פטרוכימית, האיצו את המגמה הזו. מפעלי התעשייה שנבנו כהמשך לתוכנית זו במפרץ חיפה במשך השנים כללו בתי זיקוק, תחנת כוח, מפעלים פטרוכימיים שונים, מפעל בטון ומלט, מפעלי פלדה וציפוי מתכות, מפעל דשנים ותעשייה אגרוכימית, ומפעלים לייצור מזון, כימיקלים ומוצרים אחרים. נמל חיפה הוא הגדול בנמלי ישראל מבחינת מספר הנוסעים העוברים בו וגם מבחינת נפח הסחורות המשונעות דרכו, ובימים אלה הוא מתרחב עם הקמת 'נמל המפרץ'. פעילות התעשייה והנמל מלווים בתנועה משמעותית של משאיות כבדות באזור ובתנועת רכבות מטען. ככלל, כל הקווים הצפוניים של רכבת ישראל – רכבות מסחר ורכבות נוסעים – עוברים דרך חיפה. אזור מפרץ חיפה משתרע על שטח של כ-120 קמ"ר מדרום מזרח למפרץ חיפה (איור 1) ומתגוררים בו כ-600,000 איש שהופכים אותו למטרופולין השלישית בגודלה בישראל.

איור 1

אזור מפרץ חיפה

(א) האיור מציג את הדרכים הראשיות (באדום) והמשניות (בכתום), מסילות הרכבת (מסומנות בקו מקווקו שחור), הנמל, מתחם המפעלים הפטרוכימיים (פוליגון אדום), מתחם חוות המכלים (פוליגון כחול), תחנות הניטור (עיגולים ירוקים), ואתרי הדגימות הדו-שבועיות (ריבועים אדומים). (ב) שושנת הרוח האופיינית לאזור מפרץ חיפה (בהתבסס על נתונים מהשנים 2016–2018 מתורן מטאורולוגי בגובה 60 מטר המצוי במתחם ב'"). שושנת הרוחות מציגה את הרוחות האופייניות לקיץ ולשעות היום בכל השנה (מצפון-מערב וממערב) ולחורף ולשעות הלילה בכל השנה (מדרום-מזרח).



פליטות מזהמים לאוויר במפרץ חיפה

פוטנציאל ההשפעה השלילית של העיור והתיעוש באזור מפרץ חיפה זוהה כבר בתחילת שנות ה-70, ומודל לחיזוי השפעתם על הסביבה פותח בטכניון בשנת 1973 [15]. מצאי הפליטות באזור לפני תחילת שנות ה-80 אינו ידוע, אך סביר להניח כי עקב היקף הפעילות התעשייתית הנרחב וחוסר הבקרה על הפליטות נפלטו לאוויר כמויות גדולות מאוד של מגוון רחב של מזהמים בתקופה זו. עדות לכך אפשר למצוא בממוצעים החודשיים ובריכוזים החודשיים המרביים הגבוהים של גופרית דו-חמצנית (SO_2) שנמדדו בתחילת שנות ה-80 בקריית אתא ובשכונת נווה שאנן בחיפה [12]. ניתן להניח בסבירות גבוהה שהריכוזים הגבוהים של גופרית דו-חמצנית לוו בריכוזים גבוהים של מזהמים אחרים שנפלטו באותו זמן מארובות המפעלים. לדוגמה, מדידות עקיפות של זיהום האוויר באזור מפרץ חיפה [11] הראו רמות גבוהות של יסודות קורט בחזיות בריאות שהועתקו אליו מאזור נקי. עדות נוספת היא הימצאות רמות גבוהות של מתכות בקרקעות לא מופרות ממזרח לאזור התעשייה במפרץ חיפה [5]. בהינתן שדה הרוח האופייני לאזור (איור 1), הדגימות הללו מייצגות כנראה את ההשפעה ארוכת-הטווח שיש לשיקוע מזהמי אוויר שמקורם בפליטות מהתעשייה על תכולת המתכות בשכבה העליונה של הקרקע.

בשנות ה-70 של המאה ה-20 החלו מאבקים אזרחיים בנושא איכות הסביבה בישראל בכלל, ובאזור מפרץ חיפה בפרט, שלוו בהמשך בחקיקה ובאכיפה של הגבלות על פליטות תעשייתיות [2]. בשנת 2011, בעקבות החלטת חוק אוויר נקי (2008) והגבלת היתרי הפליטה למפעלים, החל תהליך מדרג של ירידה בפליטות באזור מפרץ חיפה. **מטבלה 1** מציגה את מצאי הפליטות למספר מזהמי אוויר עיקריים במפרץ חיפה בשנת 2018. מהטבלה נראה שהפליטות מהנמל, ממפעלי התעשייה ומהתחבורה הן הפליטות הדומיננטיות כיום, אם כי גם מגזרים אחרים, כולל פעילות עירונית וביתית, בולטים בתרומותיהם לפליטות של תרכובות אורגניות נדיפות (VOC). כאשר מדברים על מזהמי אוויר מכלי רכב המונעים בבנוי הכוונה בעיקר לתחמוצות חנקן (NO_x), לבנון – מסרטן ודאי על פי הסוכנות העולמית לחקר הסרטן (IARC) – ולפחמן חד-חמצני (CO). **מטבלה 1** עולה כי הפליטות של מזהמי האוויר הללו מתחבורה גבוהות יותר במחוז תל-אביב מאשר במפרץ חיפה, וזאת כיוון שלמרות שמחוז תל-אביב דומה למטרופולין חיפה בשטחו הוא כפול ממנה באוכלוסייתו. מאידך, גיסא, פליטת כלל המזהמים, כולל מזהמים שהתעשייה והנמל הם מקורם העיקרי, גבוהה יותר באזור מפרץ חיפה. בפרט, כלל הפליטות של תחמוצות חנקן וחומר חלקיקי עדין מרחף ($PM_{2.5}$, המוגדר כמסרטן על-ידי IARC) גבוהות באזור מפרץ חיפה יותר מפי שניים. בהתחשב בחוסר הוודאות הקיים בנתונים, הפליטות לאוויר של תרכובות אורגניות נדיפות שאינן מתאן (NMVOC) דומות בשני האזורים, וכך גם הפליטות של בנון ופחמן חד-חמצני. עם זאת, ראוי לציין כי מפרץ חיפה רבתי מאופיין בפליטות מרובות של תרכובות אורגניות נדיפות ביחס למספר התושבים החיים באזור. משפחת מזהמים זו כוללת מגוון רחב של חומרים שיכולים להימצא בסביבה במצבי צבירה שונים, וחלק מהם נוטים לעבור ריאקציות כימיות מורכבות באטמוספירה. מעט מאוד ידוע כיום על הגורל של מרבית החומרים האלה לאחר שהם נפלטים לאוויר.

טבלה 1

מצאי פליטות לאוויר באזור מפרץ חיפה בשנת 2018 (טונות לשנה)
 הרשויות המוניציפליות הכלולות באזור זה הן: חיפה, נשר, קריית אתא, קריית ביאליק, קריית מוצקין, קריית ים, קריית טבעון, רכסים, בסמת טבעון ומועצה אזורית זבולון. להשוואה מוצגות בסוגריים הפליטות במחוז תל-אביב (הערים תל-אביב-יפו, רמת גן, גבעתיים, בני ברק, חולון, בת ים, קריית אונן, אור יהודה, הרצליה ורמת השרון, והמועצות המקומיות אזור וכפר שמריהו). מקור: המשרד להגנת הסביבה [4].

טבלה 1. מצאי פליטות לאוויר באזור מפרץ חיפה בשנת 2018 (טונות לשנה)
 הרשויות המוניציפליות הכלולות באזור זה הן: חיפה, נשר, קריית אתא, קריית ביאליק, קריית מוצקין, קריית ים, קריית טבעון, רכסים, בסמת טבעון ומועצה אזורית זבולון. להשוואה מוצגות בסוגריים הפליטות במחוז תל-אביב (הערים תל-אביב-יפו, רמת גן, גבעתיים, בני ברק, חולון, בת ים, קריית אונן, אור יהודה, הרצליה ורמת השרון, והמועצות המקומיות אזור וכפר שמריהו). מקור: המשרד להגנת הסביבה [4].

מקורות	חחמוצות חנקן (NO _x)	חומר חלקיקי עדין מרחף (PM _{2.5})	פחמן חד-חמצני (CO)	גופרית דו-חמצנית (SO ₂)	תרכובות אורגניות נדיפות שאינן מחאן (NMVOC)	בנזן
תעשייה	910 (145)	116 (36)	1,240 (14)	997 (155)	813 (46)	2.8 (0)
ייצור חשמל	471 (364)	56 (3)	63 (30)	0 (2)	0 (0)	0 (0)
החבורה - רכבי כביש (כולל משאיות)	1,806 (2,413)	129 (276)	1,903 (4,108)	22 (47)	191 (428)	5.8 (14.5)
החבורה - רכבי שטח (כולל צמי"ה)	884 (969)	67 (73)	424 (461)	0 (0)	114 (122)	0 (0)
החבורה מסילתית	347 (409)	9 (11)	53 (62)	0 (0)	14 (16)	0 (0)
החנות דלק	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	169 (209)	1.69 (2.09)
כלי שיט בנמל	4,716 (0)	371 (0)	623 (0)	3,810 (0)	279 (0)	0 (0)
שרפת פסולת עירונית	10 (0)	24 (0)	133 (0)	1 (0)	48 (0)	3.1 (0)
פליטות ביחיות (ללא אח)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	952 (2,495)	0 (0)
שרפת עץ לחימום ביחית (אח)	5 (0)	96 (3)	462 (16)	1 (0)	11 (0)	2.4 (0)
אחר	0 (15)	7 (6)	33 (43)	3 (3)	53 (12)	0.21 (0.41)
כלל הפליטות	9,149 (4,315)	875 (408)	4,934 (4,734)	4,834 (207)	2,644 (3,328)	16 (17)

בשנת 2015 התקבלה בממשלה התוכנית הלאומית לצמצום זיהום אוויר ולהפחתת סיכונים סביבתיים באזור מפרץ חיפה [3], שבמסגרתה נקבעו תמריצים להפחתת פליטות מזהמי אוויר מתעשייה, מתחבורה, מתחנות תדלוק וכדומה. מדיניות אזור אוויר נקי הוחלה על כל שטחי המגורים בחיפה בחודש פברואר 2018, ובמסגרתה נאסר על משאיות מונעות דיזל שמשקלן מעל 3.5 טונות להיכנס למרחב העירוני, אלא אם הותקנו בהן אמצעי בקרה מתקדמים

למניעת פליטות מזהמים לאוויר. אחרי השנה הראשונה של התוכנית נמצאו ירידות משמעותיות בריכוזים הסביבתיים של פחמן שחור ותחמוצות חנקן, שיוחסו לשינויים התחבורתיים שבוצעו במסגרת התוכנית [16].

למרות האמור לעיל, יש להדגיש כי אין קשר ישיר ולינארי בין פליטות מזהמים לאוויר לבין הריכוזים הסביבתיים שלהם. קשר חמקמק זה מדווח בספרות וידוע כ"בעיה" כאשר מנסים לבסס תובנות לגבי מצב איכות האוויר באזור מסוים בהסתמך על שני מסדי נתונים בלתי תלויים: מצאי פליטות ומסדי נתוני ניטור אוויר (כפי שיוצג בהמשך). חוסר הלינאריות נובע מסיבות שונות – הגובה האפקטיבי של הפליטות, מרחק הפליטות מנקודות המדידה, מיקום הפליטות יחסית לשדה הרוח באזור המדידה (משתני פיזור מזהמים), ההיגביות הכימית (chemical reactivity) של החומרים לתגובות עם מחמצנים ורדיקלים שונים ולקרנית שמש (תגובות פוטוכימיות) ועוד גורמים רבים הקובעים את הקשר בין פליטת מזהם לאוויר לריכוזו בסביבה.

פיזור מזהמים במפרץ חיפה

בניגוד לאזורים מתועשים אחרים בארץ, ארובות התעשייה בחיפה נמוכות מחלקים נרחבים של אזורי המגורים בעיר. עובדה זו מפליטות מרובות מארובות מפעלי התעשייה בעבר הובילו לריכוזי מזהמים גבוהים בסביבה ולחשיפה של הציבור אליהם. במחקר להערכת השפעת זיהום האוויר באזור מפרץ חיפה על בריאות ילדים [12] נמצא עודף מובהק של מחלות נשימה בתחילת שנות ה-80 באזורים שנחשבו חשופים לזיהום אוויר תעשייתי. השפעת הפליטות התעשייתיות ניכרה בייחוד בתנאים סינופטיים מסוימים. בסקר מטאורולוגי באזור המפרץ [1] נמצא כי במהלך לילות בהירים, בעיקר בנוכחות אפיק ים סוף חלש, רוחות מזרחיות חלשות מסיעות תיקרות תעשייתיות בעלות פיזור אנכי קטן לכיוון רכס הכרמל. ואכן, הריכוזים הגבוהים ביותר של גופרית דו-חמצנית בראשית המאה ה-21 נמדדו בתנאים מטאורולוגיים אלה. מזהם זה נפלט עקב שרפת דלקים עשירים בגופרית ומשמש סמן לפליטות מתעשייה כבדה ומתחנות כוח המשתמשות בפחם או במזוט.

מאז המעבר בשנת 2009 לשימוש בגז טבעי לשם ייצור חשמל ולתהליכי בעירה תעשייתיים אחרים במפרץ חיפה, תנאי הפיזור הבעייתיים באזור (דהיינו ארובות נמוכות וטופוגרפיה מורכבת) רלוונטיים בעיקר לפיזור תחמוצות חנקן ותרכובות אורגניות נדיפות הנפלטות מארובות המפעלים. אבל בעוד שהחלק של הפליטות התעשייתיות של תחמוצות החנקן מכלל פליטות תחמוצות החנקן באזור מפרץ חיפה קטן (טבלה 1), אין כך הדבר לגבי פליטות של תרכובות אורגניות נדיפות. עם זאת, יש לציין שחלק מפליטות התרכובות האורגניות הנדיפות שמקורן בתעשייה מגיעות ממקורות לא מוקדדים (חלק מהם בגובה נמוך) ולא מארובות או מלפידים תקולים. כיום מרבית המזהמים נפלטים קרוב לפני הקרקע (מתחבורה יבשתית וימית ועקב פעילות ביתית, טבלה 1) ותנאי הפיזור במפרץ חיפה לפליטות בגובה זה טובים [21].

בין הגורמים החשובים ביותר לפיזור מזהמים באזור מפרץ חיפה נכללים מחזור הבריזה היומי, התנאים המטאורולוגיים הנקבעים על-ידי המערכת הסינופטית השולטת, והאילוץ הטופוגרפי-אורוגרפי שמכתיבים הכיוון של רכס הכרמל ותלילות המורדות הצפון מזרחיים שלו. כל המשתנים האלה גורמים להתפלגות עונתית ויומית צרה של כיוון הרוח האופיינית במפרץ חיפה (איור 1). הנושאת עימה את המזהמים ממקורות הפליטה (טבלה 1) לכיוון הים התיכון (בחורף או בלילה) או לכיוון עמק יזרעאל (בקיץ או ביום). פיזור המזהמים במפרץ חיפה ובכלל מושפע גם ממצב היציבות האטמוספירית בשכבת הגבול. תנאי יציבות המדכאים פיזור מזהמים שמקורם בפני השטח מתקיימים כמעט אך ורק בלילה [19], כשהפליטות הקרקעיות (למשל מתחבורה) נמוכות. בשל הטופוגרפיה של מפרץ חיפה והארובות הנמוכות של מפעלי התעשייה כפי שתואר לעיל, תנאי יציבות המדכאים פיזור מזהמים (בפרט בלילות קרים עם רוח חלשה) גורמים להצטברות מזהמי אוויר באזורים הנמוכים. במשך שעות היום מתרחשת כמעט תמיד אי-יציבות חזקה, התורמת לפיזור יעיל של מזהמים מפני השטח לרום.

נתוני איכות האוויר באזור מפרץ חיפה

החששות באשר לזיהום האוויר בחיפה וההיסטוריה של איכות האוויר באזור הביאו להתרחבות מהירה של מערך ניטור איכות האוויר במפרץ חיפה, ומחקרים רבים שנעשו ב-20 השנים האחרונות השתמשו בנתונים אלה כדי לחקור היבטים שונים של איכות אוויר באזור. ניטור איכות האוויר במפרץ חיפה החל בראשית שנות ה-80 בשתי תחנות שהפעילה חברת החשמל בנווה שאנן ובקריית אתא. מערך הניטור תוגבר בהדרגה, ובשנת 2018 כלל 21 תחנות ניטור כלליות ותחבורתיות המנטרות (Benzene, BTEX), $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO , O_3 , NO , NO_2 , NO_x , SO_2 ו- H_2S Toluene, Ethylbenzene, Xylene), 1-3 Butadiene. יש לציין כי מגוון חלקי בלבד של מזהמים מנוטר בכל אחת מתחנות הניטור, בהתאם ליעוד התחנה ולמטרותיה. מכלל המזהמים, רק SO_2 , NO_x , NO_2 , NO , O_3 ו- $PM_{2.5}$ מנוטרים ביותר מעשר תחנות ניטור, ולכן מאפשרים ניתוח מרחבי אמין של התצפיות. רוב תחנות הניטור מופעלות

על-ידי איגוד ערים מפרץ חיפה להגנת הסביבה, והיתר על-ידי חברת יפה נוף, חברת החשמל והמשרד להגנת הסביבה. פרט לתחנות הניטור של חברת יפה נוף, כל התחנות מתוחזקות ומתופעלות בהתאם להנחיות הממונה על מערך הניטור במשרד להגנת הסביבה, והגופים המנטרים עברו הסמכה לתקן ISO 17025.

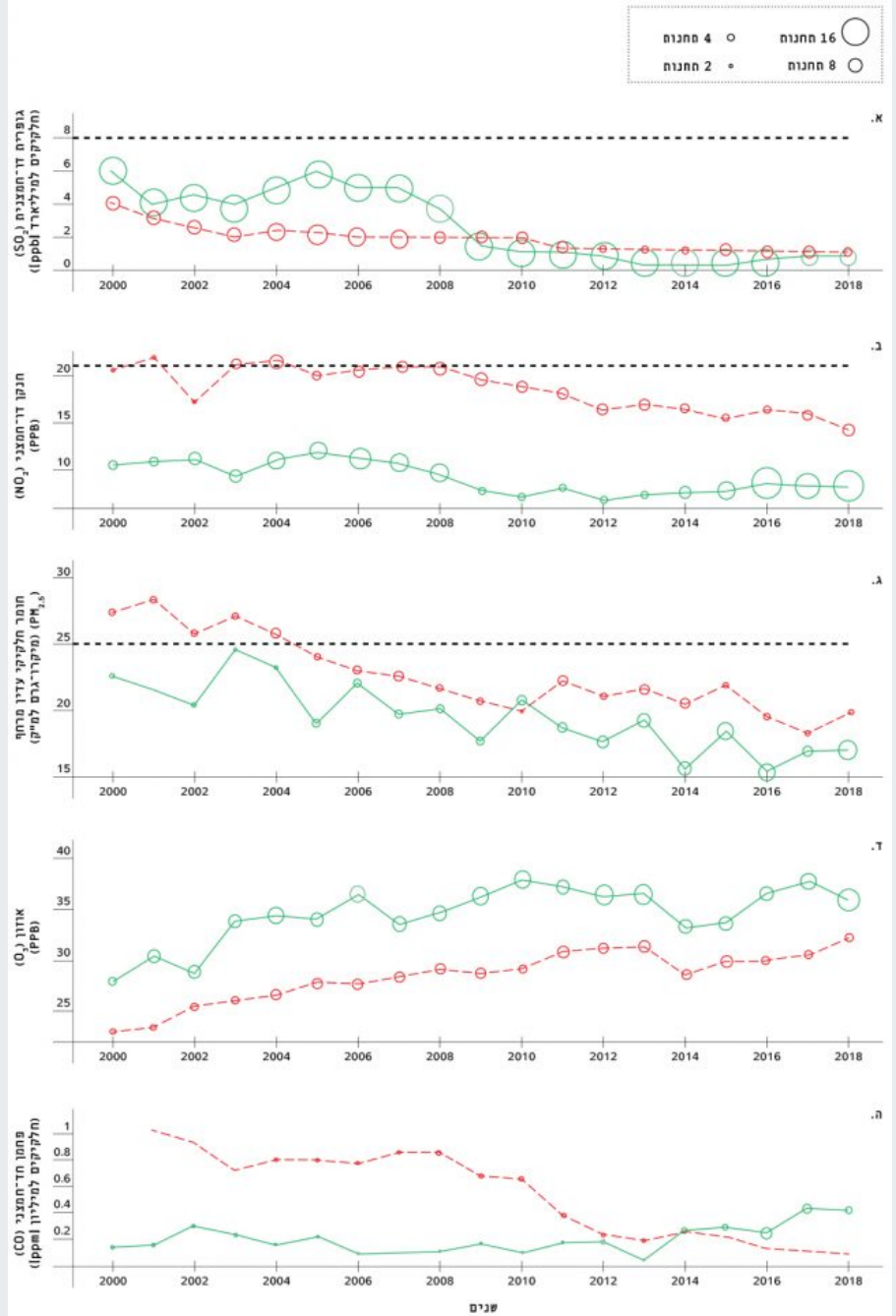
איור 2 מציג את הממוצעים השנתיים בשנים 2000–2018 של מספר מזהמים (SO_2 , NO_2 , O_3 , CO , $PM_{2.5}$) המנטרים במספר גדול יחסית של תחנות ניטור באזור מפרץ חיפה, כמו גם נתונים תואמים שנמדדו בתחנות ניטור בגוש דן. נראה בבירור כי באזור מפרץ חיפה, שכ-8% מאוכלוסיית ישראל מתגוררת בו, מספר תחנות הניטור גדול יותר מאשר בגוש דן, שכ-30% מהאוכלוסייה מתגוררת בו. למעט גופרית דו-חמצנית, ריכוזי המזהמים הראשוניים (הנפלטים ישירות ממקורות) היו נמוכים משמעותית באזור מפרץ חיפה ביחס לאלה שנמדדו בגוש דן בתקופה המקבילה. ריכוזי הגופרית הדו-חמצנית באזור מפרץ חיפה היו גבוהים יותר מאשר הריכוזים באזור גוש דן עד שנת 2008, אך ירדו במהירות עם המעבר לשימוש בגז טבעי בתחנת הכוח של חברת החשמל ובבתי הזיקוק. מפאת קוצר מקום, הדיון בריכוזים סביבתיים של אוזון (O_3), שהוא מזהם משני) כמו גם בשונות ריכוזי המזהמים בסקלות הזמן היומית והשבועית מופיע [בנספח](#).

איור 2

הריכוז השנתי הממוצע של SO_2 , NO_2 , $PM_{2.5}$, O_3 ו- CO במפרץ חיפה (קו ירוק מלא) ובגוש דן (קו אדום מקווקו)

הערכים המופיעים בצירוף הם הממוצעים של כל הנתונים שנצפו בכל תחנות הניטור הכלליות בכל אזור, ובתנאי שהתחנה דיווחה בלפחות 80% מנקודות הזמן במהלך השנה. הקו המקווקו השחור באיורים 2-א-ג מסמן את ערך הסביבה השנתי של המזהם. מספר התחנות שנתונין כלולים בחישוב בכל נקודת זמן לכל מזהם מיוצג על-ידי גודל הסמן, על פי המפתח המוצג במקרא.

איור 2. הריכוז השנתי הממוצע של SO_2 , NO_2 , $PM_{2.5}$, O_3 ו- CO במפרץ חיפה (קו ירוק מלא) ובגוש דן (קו אדום מקווקו) הערכים המופיעים בצירוף הם הממוצעים של כל הנחנות שנצפו בכל תחנות הניטור הכלליות בכל אזור, ובמנאי שהחנה דיווחה לכל הפחות ב-80% מנקודות הזמן במהלך השנה. הקו המקווקו השחור באיורים א-ג מסמן את ערך הסביבה השנתי של המזהם. מספר החנות שנמוניו כלולים בחישוב בכל נקודת זמן לכל מזהם מיוצג על ידי גודל הסמן, על פי המפתח המוצג במקרא.



חוק אוויר נקי (2008) קובע, בין היתר, גם ערכי סף לריכוזים באוויר הסביבה (תקני איכות אוויר), כלומר ריכוזים מותרים למזהמים שונים המחושבים כממוצעים על פני פרקי זמן שונים – ערכים אלה נקראים ערכי סביבה. לריכוזי הסביבה של מספר מזהמים, בחלונות המיצוע המופיעים בתקן, מותר לעלות מעל ערכי הסביבה מספר פעמים בשנה לפני שההפרות מוגדרות כחריגה מערך הסביבה (התקן). ערכי הסביבה מתעדכנים כל מספר שנים, והעדכון האחרון נכנס לתוקף ב-2017. באופן כללי, לכל אורך התקופה בין 2001 ל-2018 הריכוזים השנתיים הממוצעים של $PM_{2.5}$ היו נמוכים מערך הסביבה השנתי (25 מיקרוגרם למטר מעוקב – mg/m^3) בכל תחנות הניטור במפרץ חיפה, אם כי הם היו גבוהים מערך היעד השנתי (10 mg/m^3) (התואם את המלצות ארגון הבריאות העולמי (WHO) לערך הסביבה. יש לציין כי חריגות מערך היעד השנתי עבור ריכוזי $PM_{2.5}$ נצפות בתחנות הניטור בכל הארץ עקב ריכוזי רקע גבוהים, הנובעים מתרומת אבק מדברי המגיע ממדבריות ערב וצפון אפריקה וכן

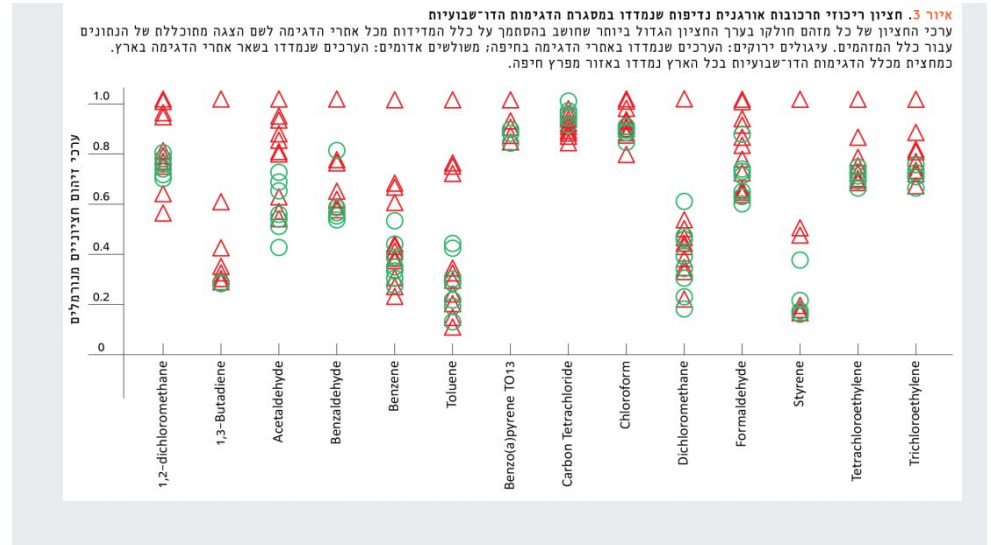
מריכוזי סולפט, ניטרט, אמוניום, וחומר אורגני חלקיקי המגיעים בהסעה ארוכת-טווח מאירופה. הפרות של ערך הסביבה היממתי ל-37.5) $PM_{2.5}$ מק"ג למ"ק) נצפות כל שנה (מותרות 18 הפרות כאלה בשנה בתחנת הניטור לפני שמוכרזת חריגה) ונובעות משונות רבה של מופע התנאים הסינופטיים, מהמספר, מהמשך ומהעוצמה של סופות האבק באזורנו [20], ומהתפלגות מצבי היציבות של האטמוספירה. תוצאות דומות נצפו גם עבור ריכוזי PM_{10} (לאחר הפחתת 18 הערכים היממתיים הגבוהים ביותר בכל שנה, ערך הסביבה השנתי הוא 50 מק"ג למ"ק). באופן דומה, גם הריכוזים של המזהמים העיקריים האחרים במפרץ חיפה היו לרוב נמוכים מערכי הסביבה השנתיים של כל מזהם (איור 2). הריכוזים הממוצעים היומיים והשעתיים של גופרית דו-חמצנית (למעט אירוע בודד) לא עברו את ערך הסביבה השנתי (50 מק"ג למ"ק) והיממתי (350 מק"ג למ"ק) מתחילת שנת 2007 הודות לשיפור מתמשך באיכות הדלקים ועקב תחילת השימוש בגז טבעי במפרץ חיפה החל ב-2011. בתקופה זו (2001–2018) לא נרשמו גם חריגות מערך הסביבה (ממוצע נע) ה-8-שעתי עבור אזוון (140 מק"ג למ"ק) (מכיוון שבכל תחנת ניטור מותרת עשר הפרות בשנה לפני שמוכרזת חריגה), וגם לא של ערך הסביבה השנתי עבור חנקן דו-חמצני (NO_2 , 40 מק"ג למ"ק) בתחנות הניטור הכלליות. בתחנות ניטור תחבורתיות הממוקמות סמוך לכבישים – סביבה שאינה מאפיינת את החשיפה של כלל האוכלוסייה לזיהום אוויר – מתרחשות מדי שנה מספר רב של הפרות של ערך הסביבה היממתי, עד כדי חריגה מערך הסביבה השנתי. כמו כן, בתחנות שונות במפרץ חיפה נמדד מספר פעמים ב-20 השנים האחרונות ריכוז יממתי שעלה על ערך הסביבה היממתי עבור בנזן (3.9 מק"ג למ"ק). היות שמספר המקרים הללו בכל תחנה שבטון מנוטר בה היה קטן משבע פעמים בשנה, שהוא מספר ההפרות המותרות לפני שמוכרזת חריגה, לא נרשמה בהן חריגה.

חוק אוויר נקי (2008) קבע גם תקני סביבה לכ-30 חומרים המוגדרים כמזהמי אוויר שלא ניתן לנטר בצורה רציפה 24/7 בטכנולוגיות הזמינות כיום, כגון מתכות בחומר חלקיקי מרחף ורשימה של תרכובות אורגניות נדיפות. לחומרים אלה בנה המשרד להגנת הסביבה תוכנית דגימות הכוללת מדידות דו-שבועיות ב-17 אתרי מדידה. שמונה מהאתרים האלה נמצאים במפרץ חיפה (איור 1), בעיקר בסביבת הנמל והמתחם התעשייתי. נקודת מדידה נוספת ממוקמת בגליל התחתון ומשמשת להערכת ריכוזי הרקע של החומרים באזור מפרץ חיפה. המדידות מבוצעות אחת לשבועיים בערך (בימי חול משתנים) והאנליזות מבוצעות במעבדות מוסמכות ועל פי פרוטוקולים סטנדרטיים. עקב התדירות הנמוכה של הדגימות הדו-שבועיות והתקופה הקצרה שהן מבוצעות עד כה (באופן נרחב החל ב-2015), מספר המדידות של ריכוזי כל מזהם קטן עדיין (נכון ל-2020, עשרות עד כ-120 מדידות) ואינו מאפשר ניתוח סטטיסטי מקיף ואמין. איור 3 מציג את החציון של ריכוזי תרכובות אורגניות נדיפות שנמדדו במסגרת הדגימות הדו-שבועיות באזור מפרץ חיפה, ומשווה אותן לערכים החציוניים שנמדדו באזורים אחרים בארץ. איור 3 בנספח מציג את הערכים המרביים של מזהמים אלה. בניקוי פליטות ביתיות – שניתן להניח כי החומרים האורגניים הנפלטים לאוויר במסגרתן שונים מאשר פליטות מתעשייה, מכלי רכב, מהנמל וכו' – מצאי הפליטות מצביע על פליטות גבוהות של תרכובות אורגניות נדיפות באזור מפרץ חיפה (טבלה 1). למרות זאת, הריכוזים של התרכובות האורגניות הנמדדים בחיפה דומים לאלה שנצפים באזורים אחרים בישראל או אף נמוכים מהם. בעוד שבכל האתרים שמתבצעות בהם הדגימות באזור מפרץ חיפה נמצאו הפרות של ערכי הסביבה עבור פורמלדהיד (ממוצע שנתי), בנזן(א)פירן (ממוצע יומי) ובוטדיאן-1,3 (ממוצע יומי), חשוב להבהיר כי הפרות של ערכי הסביבה של מזהמים אלה נצפות באופן תדיר גם בכל אתרי הדגימה האחרים (כלומר, גם באתרים שאינם במפרץ חיפה). בחלק מאתרי המדידה במפרץ חיפה נמצאו חריגות מערכי הסביבה היומיים גם למזהמים נוספים, אך מספר החריגות הללו קטן מאשר באתרי הדגימה שאינם במפרץ חיפה.

איור 3

חציון ריכוזי תרכובות אורגניות נדיפות שנמדדו במסגרת הדגימות הדו-שבועיות

ערכי החציון של כל מזהם חולקו בערך החציון הגדול ביותר שחושב בהסתמך על כלל המדידות מכל אתרי הדגימה לשם הצגה מתוכללת של הנתונים עבור כלל המזהמים. עיגולים ירוקים: הערכים שנמדדו באתרי הדגימה בחיפה; משולשים אדומים: הערכים שנמדדו בשאר אתרי הדגימה בארץ. כמחצית מכלל הדגימות הדו-שבועיות בכל הארץ נמדדו באזור מפרץ חיפה.



תובנות שהתקבלו ממחקרי איכות אוויר באזור מפרץ חיפה ב-20 השנים האחרונות

במחקר על הדפוסים המרחביים של מזהמים שנוטרו באזור מפרץ חיפה בתחילת המאה ה-21^[17] נמצא קשר חזק בין התצורות המרחביות של אוזון, תחמוצות חנקן ו-PM₁₀, אך לא בין אף אחת מהתצורות המרחביות של מזהמים אלה עם זו של גופרית דו-חמצנית. עובדה זו וכן היחס הנמוך בין הריכוז המולרי של גופרית (בגופרית דו-חמצנית) לריכוז המולרי של חנקן (בתחמוצות חנקן) בכל אזור מפרץ חיפה (בהתאם לסינוג של ניראל ודיין^[13]) רמזו שמקור תחמוצות החנקן והחלקיקים באזור (עקב הדמיון בתצורות המרחביות שלהם) הוא בעיקר תחבורה. ממצא זה היה מנוגד להערכת מצאי הפליטות של איגוד ערים חיפה להגנת הסביבה מהשנים ההן, אך תואם לתוצאות ממחקר המשך שעסק בשיוך מקורות של הריכוזים הנצפים של תחמוצות חנקן^[22]. מחקר נוסף מאותם שנים^[23] דיווח שריכוזי הבנזן והטולואן שנמדדו בתחנת ניטור הממוקמת במרומי רכס הכרמל (אזור צומת חורב) מקורם מתחבורה, בעוד שאלה שנמדדו בתחנת ניטור בקרבת אזור התעשייה (תחנת ניטור "איגוד") מקורם מתחבורה ומתעשייה זעירה. בפרט, נמצא כי המקור לחלק מריכוזי הסביבה של קסילן ושל אתילבנזן הוא נידוף של ממיסים אורגניים הנמצאים בשימוש נרחב בתי מלאכה (כגון מוסכים, בתי דפוס, מכבסות ניקוי יבש, מסגרות ומפעלי אלומיניום).

מלחמת לבנון השנייה שימשה "ניסוי טבעי" להערכת ההשפעה של פעילות המגזרים השונים על רמות מזהמי האוויר^[18]. בתקופת העימות הצבאי בקיץ 2006 נצפתה ירידה משמעותית בריכוזי תחמוצות החנקן, התרכובות האורגניות הנדיפות וה-PM_{2.5} לעומת תקופות הבקרה שנבחנו. בהתחשב בכך שפעילות התעשייה הכבדה המשיכה כסדרה גם במהלך העימות הצבאי, השינויים בריכוזי המזהמים נקפו לירידה בנפחי התחבורה בתקופה זו. עקב מחסור בנתונים לא נבחנה הפעילות המופחתת במל חיפה בתקופת העימות, ולכן תרומתה לירידה ברמות המזהמים אינה ידועה.

לסיכום, ממצאי מחקרים מ-20 השנים האחרונות מצביעים באופן עקבי על כך שהמקור לחלק ניכר מריכוזי תחמוצות החנקן, PM_{2.5} והתרכובות האורגניות הנדיפות ממשפחת ה-BTEX באזור מפרץ חיפה הוא תחבורה. ממצאים אלה אוששו באופן בלתי תלוי על-ידי ניתוח דגימות אבק רחוב מכבישים מרכזיים באזור מפרץ חיפה^[5], שנמצאו בהן חתימות מתכתיות שמקורן תחבורתי (למשל מתכות המשמשות קטליזטורים בממירים קטליטיים) ללא עדות נגדית משמעותית לחתימות של מקורות תעשייתיים (למשל מתכות המצויות רק בדלק כבד המשמש בתעשייה בלבד). ראוי גם לציין שבמחקר השוואתי בין-לאומי של הרכב חומר חלקיקי מרחף^[14] נמצא שלמרות הפליטות המשמעותיות באזור מפרץ חיפה, ריכוז כלל מרכיבי ה-PM_{2.5} בחיפה, ובפרט של חומרים שהם סמנים של תהליכי שרפה, היה הנמוך ביותר מבין אלה שנמדדו בשבע ערים בישראל, ירדן והרשות הפלסטינית, ובהן תל-אביב וירושלים.

דיון ומסקנות

מחקרים רבים^[6, 7, 8, 9, 10, 20, 21] הראו שחלק ניכר מהחומר החלקיקי העדין המרחף, כמו גם הפחמן החד-חמצני,

במפרץ חיפה מגיע מחול (בהסעה ארוכת-טווח מאירופה, מצפון אפריקה ומהמדבר הערבי). הטענה שתחבורה היא התורמת העיקרית כיום לריכוזי תחמוצות החנקן ומזהמים נוספים באזור מפרץ חיפה [17,18,21,22,23] נתמכת על-ידי העובדה שמרבית אתרי הדגימות הדו-שבועיות הנמצאים באזור מפרץ חיפה ממוקמים בקרבת הנמל ואזור התעשייה, אך לא נמצאו בהם מתכות ותרבות אורגניות נדיפות אופייניים לתעשייה בריכוזים גבוהים יותר מאשר באתרי דגימה אחרים בישראל. ניתן להסביר את הפער בין מצאי הפליטות הגדול באזור מפרץ חיפה (טבלה 1) והריכוזים הנמוכים יחסית של מזהמי האוויר באזור (איור 2) בכיווני הרוח השכיחים באזור ובתנאי הפיזור הטובים למיהול פליטות שמקורן סמוך לקרקע (בניגוד לפליטות מארובות) [21].

לחץ ציבורי ופעילות מאומצת של ארגוני סביבה, כמו גם חקיקה סביבתית שלווה באכיפה קפדנית, הניבו פרי והפחיתו באופן משמעותי את רמות זיהום האוויר באזור מפרץ חיפה. בשני העשורים האחרונים ריכוזי המזהמים הראשוניים באזור מפרץ חיפה אינם גבוהים יותר, ולעיתים אף נמוכים בצורה ניכרת מאשר במרכזים עירוניים גדולים אחרים בישראל. עם זאת, יש לנקוט את כל האמצעים כדי להמשיך את הפחתת הפליטות מכל המגזרים כדי להביא למינימום האפשרי את ריכוז מזהמי האוויר באזור. דגש מיוחד יש לתת להפחתת פליטות של תרכובות אורגניות נדיפות, עקב הפוטנציאל שלהן לגרום להשפעות בריאותיות מזיקות והאי-ודאות לגבי גורלן וגורל תוצרי הריאקציה והפירוק שלהן. מאחר שמקור משמעותי לפליטות של תרכובות אורגניות נדיפות הוא פעילות ביתית (טבלה 1), וכיוון שהחשיפה של האוכלוסייה לפליטות הביתיות גבוהה יותר מאשר החשיפה למקורות תעשייתיים (עקב קרבת האנשים למקורות הביתיים), יש להעלות את מודעות הציבור לפליטות אלה במטרה לצמצם את השימוש הביתי בחומרים המכילים תרכובות אורגניות נדיפות.

בשנים האחרונות מתגברת בעולם מגמת השימוש באנרגיות מתחדשות עקב עליית המודעות להשפעת הפעילות האנושית על שינוי האקלים. על הממשלה לעודד מגמה זו ולהקטין את הצריכה של אנרגיה המיוצרת מדלקי מחצבים. פעילות זו תביא להפחתת הפליטות ולהורדת ריכוזי הסביבה של מזהמי אוויר רבים, מעבר להקטנת הפליטות של גזי חממה. נקיטת אמצעים אלה חשובה במיוחד להפחתת הפליטות באזור מפרץ חיפה, שנמצא בו ריכוז גדול של מפעלים לייצור ולזיקוק דלקי מחצבים.

אנו מקווים שהסקירה והמסקנות שהוצגו במאמר זה יעזרו להכווין את המאמצים להמשך שיפור איכות האוויר באזור מפרץ חיפה באופן המתאים לתנונים ולתצפיות הקיימות.

תודות

עבודה זו בוצעה במרכז המצוינות לחקר חשיפה סביבתית ובריאות בטכניון – המכון הטכנולוגי לישראל. המחברים מודים לד"ר ברנדה פליקשטיין ולד"ר אילן לוי על הערותיהם המועילות ועזרתם בהכנת המאמר, ולשלושה סוקרים אנונימיים שהערותיהם הביאו לשיפור הגרסה הסופית של המאמר.

הלכה למעשה

עיקר עיסוקו של מחוז חיפה של המשרד להגנת הסביבה הוא התעשייה הכימית והפטרוכימית במפרץ, הנמצאת בקרבה מסוכנת למרכזי אוכלוסייה. בעשור האחרון אנו עוסקים בהפחתת זיהום האוויר ממגוון רחב של מזהמים, שניתן לקשרם באופן ישיר לתחלואה במחלות בדרכי הנשימה ובמערכת כלי הדם. הפחתתו בעשרות אחוזים את ריכוזי תרכובות הגופרית, תרכובות החנקן וחלקיקים אחרים המוכרים במחקרים כקשורים למחלות אלה. כיום עיקר העיסוק של המחוז הוא בהפחתת המזהמים האורגניים הנדיפים הנפלטים מהתעשייה הפטרוכימית, שהעיקרי בהם הוא בנזן, המוכר כמחולל סרטן ודאי.

ההפחתה במזהמים התאפשרה באמצעות התוכנית הלאומית למפרץ חיפה, הכוללת הפחתת פליטות ממפעלים, וכן באמצעות מגוון פעולות לצמצום הזיהום התחבורתי בחיפה – הפעלת אזור אוויר נקי, הכנסת משאיות אשפה המונעות בגז טבעי לצי העירוני, הכנסת אוטובוסים חשמליים לעיר, הפעלת מערך שיתוף לכלי רכב חשמליים ועוד.

השרה להגנת הסביבה, גילה גמליאל, הכריזה כי אין עוד מקום לתעשייה פטרוכימית מזהמת בקרבה כה רבה לאוכלוסייה, וזאת בהתאם למגמה כלל-עולמית, שמגובה בגישה כלכלית תומכת. השרה מובילה מהלך כולל למפרץ חיפה, שבמסגרתו יוקם צוות מנכ"לים בראשות מנכ"ל משרד ראש הממשלה. המהלך

יבחן את עתיד המפרץ, את הוצאת המפעלים הפטרוכימיים ואת הקמת מפרץ החדשנות.

הירידה בצריכת הדלק העולמית ובמחירו בעקבות מגפת הקורונה מגבירה את הכדאיות הכלכלית של סגירת התעשייה הפטרוכימית במפרץ, ושל העדפת אנרגיה מתחדשת על פני זו המיוצרת מדלקי מחצבים. עד שהתעשייה הפטרוכימית תיסגר, עלינו במשרד להגנת הסביבה להקפיד – קלה כחמורה – על עמידת התעשייה בתקנות ובדרישות, וזאת על-ידי אסדרה מחמירה, פיקוח ואכיפה.

שלמה כץ, מנהל מחוז חיפה, המשרד להגנת הסביבה

מקורות

1. דיין א וקוך ז. 1988. ניתוח מדידות רום באזור חיפה להערכת התנאים הקריטיים לפיזור והסעת תימרות מארובות גבוהות. דו"ח מס' 1811, ממ"ג סורק.
2. טל א. 2006. הסביבה בישראל: משאבי טבע, משברים, מאבקים ומדיניות – מראשית הציונות ועד המאה ה-21. תל-אביב: הוצאת הקיבוץ המאוחד.
3. המשרד לאיכות הסביבה. [תכנית הפעולה הלאומית למפרץ חיפה](#). נצפה ב-7 ביולי 2020.
4. המשרד להגנת הסביבה. [מצאי פליטות מזהמים לאוויר](#). נצפה לאחרונה ב-ביולי 2020.
5. שירב-שורץ מ, אילני ש, הליץ ל ויפה א. 2009. זיהוי של מוקדי זיהום במתכות קורט באזור עמק זבולון בכלים גיאוכימיים. דו"ח מס' GSI/7002/91, המכון הגיאולוגי, משרד התשתיות.
6. Asaf D, Pedersen D, Peleg M, et al. 2008. Evaluation of background levels of air pollutants over Israel. *Atmospheric Environment* **42**: 8453-8463.
7. Erel Y, Axelrod T, Veron A, et al. 2002. Transboundary atmospheric lead pollution. *Environmental Science & Technology* **36**: 3230-3233.
8. Erel Y, Dayan U, Rabi R, et al. 2006. Transboundary transport of pollutants by atmospheric mineral dust. *Environmental Science & Technology* **40**: 2996-3005.
9. Erel Y, Kalderon-Asael B, Dayan U, and Sandler A. 2007. European atmospheric pollution imported by cooler air masses to the Eastern Mediterranean during the summer. *Environmental Science & Technology* **41**: 5198-5203.
10. Falkovich AH, Schkolnik G, Ganor E, and Rudich Y. 2004. Adsorption of organic compounds pertinent to urban environments onto mineral dust particles. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **109**.
11. Garty J, Weissman L, Cohen Y, et al. 2001. Transplanted lichens in and around the Mount Carmel National Park and the Haifa Bay industrial region in Israel: Physiological and chemical responses. *Environmental*

.Research **85**: 159-176

- Goren AI, Hellman S, Brenner S, et al. 1990. Prevalence of respiratory conditions among schoolchildren exposed to different levels of air pollutants in the Haifa Bay area, Israel. *Environmental Health Perspectives* **89**: 225-231 .12
- Nirel R and Dayan U. 2001. On the ratio of sulfur dioxide to nitrogen dioxides as an indicator of air pollution sources. *Journal of Applied Meteorology* **40**: 1209-1222 .13
- Sarnat JA, Moise T, Shpund J, et al. 2010. Assessing the spatial and temporal variability of fine particulate matter components in Israeli, Jordanian, and Palestinian cities. *Atmospheric Environment* **44**: 2383-2392 .14
- Shefer D. 1973. Forecasting industrial air pollution in the Haifa Bay area with an input-output model. *Socio-Economic Planning Sciences* **7**: 397-406 .15
- Tartakovsky D, Kordova-Biezuner L, Berlin E, and Broday DM. 2020. Air quality impacts of the low emission zone policy in Haifa. *Atmospheric Environment* **232**: 117472 .16
- Yuval and Broday DM. 2006. High-resolution spatial patterns of long-term mean concentrations of air pollutants in Haifa Bay area. *Atmospheric Environment* **40**: 3653-3664 .17
- Yuval, Flicstein B, and Broday DM. 2008. The impact of a forced reduction in traffic volumes on urban air pollution. *Atmospheric Environment* **42**: 428-440 .18
- Yuval, Levy Y, Dayan U, et al. 2020. On the association between the atmospheric boundary layer characteristics and air pollution concentrations. *Atmospheric Research* **231** .19
- Yuval, Sorek-Hammer M, Stupp A, et al. 2015. Characteristics of the East Mediterranean dust variability on small spatial and temporal scales. *Atmospheric Environment* **120**: 51-60 .20
- Yuval, Trischer T, Raz R, et al. 2020. Emissions vs. turbulence and atmospheric stability: A study of their relative importance in determining air pollutant concentrations. *Science of the Total Environment* **733**: 139300 .21
- Yuval, Dubowski Y, and Broday DM. 2007. Allocation of routinely monitored mixing ratios of nitrogen oxides to their sources. *Environmental Science and Technology* **41**: 7215-7221 .22
- Zalel A, Yuval, and Broday DM. 2008. Revealing source signatures in ambient BTEX concentrations. *Environmental Pollution* **156**: 553-562 .23

קריאה נוספת

ד"ח מקיף על תמונת המצב של בריאות וסביבה בישראל, המתאר חשיפות סביבתיות המשפיעות על בריאות האדם. הדו"ח נפתח בפרק העוסק במשמעויות בריאותיות של מזהמי האוויר בישראל.

הקרה לבריאות וסביבה ומשרד הבריאות. 2017. [בריאות וסביבה בישראל 2017](#). פרק א' – איכות אוויר.

נספחים (זמינים באתר)

[להורדה](#)