

זיהום אויר מחלקיקים:

**האם התקן הישראלי נותן הגנה
מספקת לבריאות הציבור**

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה

קובץ הרצאות מיום עיון בנושא:

זיהום אויר מחלקיקים:

האם התקן הישראלי נותן הגנה מספקת לבריאות הציבור

יום העיון התקיים ביום ה' 19/1/95 - בבנין קולר, קרית הטכניון, חיפה

מרכזי יום העיון: פרופ' נועם גבריאלי ומר אמנון פרנקל

עריכה: מר אמנון פרנקל וגב' דות רבקינד

סיכום זה הוכן על ידי המשתתפים ועל אחריותם. הדעות המובעות בפרסום זה הינן אלה של המשתתפים ואינן משקפות בהכרח את עמדתו של מוסד ש. נאמן.

מוסד ש. נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה
קרית הטכניון, חיפה 32000
טל. 04-237145, פקס 04-231889

תוכן העניינים

דברי פתיחה:

- 1 פרופ' דניאל ויס - מנהל מוסד שמואל נאמן
- 1 פרופ' אלכסנדר סולן - משנה בכיר לנשיא הטכניון
- 3 מר עמרם מצנע - ראש עיריית חיפה
- 4 **מושב ראשון - יו"ר: ד"ר שמואל ברנר, משנה למנכ"ל המשרד לאיכות הסביבה**
- 5 **ממצאים חדשים על תמותה עודפת עקב זיהום אויר מחלקיקים**
פרופ' נועם גבריאלי - מכון רפפורט, הטכניון
- 15 **זיהום אויר מחלקיקים באזור חיפה - תמונת מצב**
ד"ר ברננדה פליקשטיין - סמנכ"ל איגוד ערים חיפה לאיכות הסביבה
- 20 **מושב שני - יו"ר: פרופ' מנחם לוריא, מנהל ביה"ס למדע ישומי, המחלקה**
למדעי הסביבה, האוניברסיטה העברית
- 21 **על טבעם של חלקיקים ממקורות טבעיים בטיפוסי מזג האויר אופייניים**
ד"ר אליעזר גנור - המשרד לאיכות הסביבה, בית הספר לרפואה אוניברסיטאית, תל-אביב
- 36 **אמצעים טכנולוגיים להקטנת פליטות חלקיקים בתעשייה**
ד"ר יהודה גודלשמיד - מנכ"ל חברה לתכנון והנדסה סביבתית
- 48 **תקני איכות אויר לחלקיקים בארץ ובעולם**
ד"ר מיכאל גרבר - מנהל האגף לאיכות אויר, המשרד לאיכות הסביבה

דברי פתיחה

פרופ' דניאל ויס - מנהל מוסד שמואל נאמן

בשם מוסד ש. נאמן אני שמח לברך את כולכם על שהגעתם לכנס לדון בנושא שהוא כאוב וחשוב כאחד: האם התקן הישראלי לזיהום אויר בחלקיקים באמת מספק הגנה, לכולנו. הייתי רוצה לפתוח בציטטה של כותרת אשר הופיעה לפני מספר ימים בעיתון "מעריב": שלא כמו פעם, היום כבר קשה לראות את החרמון מהכנרת. חלקיקי אבק ותרסיסים מרחפים מעל אגן מי השתיה שלנו". התכנסנו היום במטרה לקיים דיון פתוח ורחב עד כמה שאפשר, בדרישות המינימליות לתקן שיביא לשמירה על בריאות הציבור. לשם כך רוכזו ביום עיון זה, מומחים ממגוון של תחומים, מאלה אשר ניתן לכוונתם "יצרני החלקיקים באויר", דרך המנטרים ועד לבודקים מההיבט הרפואי. ברצוני להודות לפרופ' נועם גבריאלי שהוא מרכז הכנס ואשר שקד על הכנת התוכנית.

לצערנו יו"ר הכנסת פרופ' שבח וייס התנצל כי לא יכול היה לבוא לכנס, אך שלח את דברי ברכתו אותם אקריא לפניכם: "צר לי על שבגלל לוח זמנים דחוס לא אוכל לברך את באי הכנס בעל פה, ולכן אנא קבלו את ברכתי הכתובה, כאילו נמסרה אישית לכל משתתף. אדם בתפקידי נאלץ להקדיש את רוב רובו של זמנו לעיסוק בפוליטיקה, שאינה מציגה תמיד את הפן היפה ביותר של החברה שלנו. לכן, תמיד מתקנא אני באלה שעוסקים באיכות הסביבה ומוצאים את עצמם מתעסקים בנושא אחד, איך להפוך את חייו ליפים יותר ונקיים יותר. אני מעריץ את מאמצים הרבים את דאגתכם הכנה לסביבה שתהיה נעימה לנו, ובעזרתכם נוכל לפתח, להתפתח, ללמוד, להנות, לשמוח ולחגוג. כי איכות החיים חשובה לא פחות מהחיים עצמם וטוב שיש מי שמזכיר לנו את זה כל שעות היום והלילה. אני מאחל לכל המשתתפים כנס מוצלח ופורה".

כדי לעמוד בלוח הזמנים אקצר בדברי ואבקש מפרופ' אלכס סולן, משנה בכיר לנשיא הטכניון לשאת את דבריו.

פרופ' א. סולן - משנה בכיר לנשיא הטכניון

תודה רבה ובוקר טוב, אדוני ראש העיר מר עמרם מצנע, פרופ' דני ויס מנהל מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה, גבירתי ורבותי. נשיא הטכניון אמור היה לפתוח כנס זה אך נבצר ממנו בשל שהותו בחו"ל בשליחות הטכניון. משום כך אני מתכבד וגם שמח מאוד לפתוח את הכנס הזה בשמו.

כנס זה מתקיים בעיתו ואולי אפילו מאוחר מדי. העולם כולו ער בעשורים האחרונים לבעיות הסביבה על כל סוגיהן ולבעיות זיהום האויר בפרט. העירנות בעולם המערבי המפותח הולכת וגדלה ונדמה שלרוב המדינות חדרה ההכרה בסכנה הטמונה בבעיות הסביבה העוללות להמיט עלינו שואה, אם לא נטפל בהן בצורה הנמרצת ביותר. אינדיקציה לכך ניתן לראות במספר מקומות בעולם, בעיקר אולי בכמה אזורים באירופה אשר מצד אחד מאופיינים ברמת תיעוש גבוהה במיוחד ומנגד בשל סיבות פוליטיות כאלה ואחרות, לא הוקדשה בהם תשומת הלב הראויה להשלכות הסביבתיות. בארץ התודעה לנושא הסביבה עדיין איננה מספקת בהשוואה לאותן מדינות מפותחות שאנחנו רוצים ובצדק, להשתוות להן ולהתחרות איתן. כתושב חיפה והאזור מזה קרוב ל-50 שנה, המעורה כאן ואוהב את העיר, יש לי טענה רצינית המופנת בראש וראשונה לכולנו והקשורה בבעיה של הטיפול בסביבה. במקום חוף הים שיכול היה להיות אחד החופים הזוהרים ביותר בעולם, ישנם אשפה ושפכים. האויר שאנחנו נושמים מדי יום ביומו מזוהם. לדוגמה מנקודת ראות אישית, כאשר אני יוצא בבוקר, ניגש למכוניתי ומנגב את השמשה, אני מבחין בליכלוך שהצטבר על המגבון או על המטלית. מיד צצה ועולה בראשי השאלה, מה אותו זיהום עשה למכונית ובמקביל לריאות שלי. באולם כפי שצוין קודם לכן, יושבים יצרני החלקיקים ומנטרי החלקיקים, ומצד זה הרי שאני אולי מייצג את נושמי החלקיקים. אני מתנצל על הנימה האישית, אולם אני מניח שאני מבטא כאן עניינם של רבים מאיתנו בנושא זיהום האויר שהוא לא רק נושא אקדמי וכלל עולמי, אלא גם אישי ומיידי.

מוסד ש. נאמן אשר יזם את הכנס הזה הוקם בטכניון על מנת לנצל את הידע הטכנולוגי והמדעי שנצבר בטכניון למחקר, ליעוץ ולגיבוש מדיניות בנושאים שיש להם השלכה לציבור הרחב בכלל, ולמקבלי החלטות בפרט. נראה לי שהנושא שלפנינו מתאים באופן יוצא מן הכלל למטרות המוסד, ואני מברך את המוסד על שארגן יום עיון זה. לפנינו בעיה אמיתית שתוכנה טכנולוגי, מדעי רפואי, אבל השלכותיה לציבור כולו. יש לנו בטכניון מומחים לנושא מהיבטים של הנדסת סביבה, הנדסת תהליכים כימיים, תכנון אורבני, ורפואה, גם בצד של פרומולוגיה וגם אפידמולוגיה. יש ענין לציבור, וצריך לקבל החלטות. זהו בדיוק מסוג הנושאים שמוסד ש. נאמן אמור ומוכשר לטפל בהם והיו לו כבר בעבר הישגים בבעיות בעלות פרופיל דומה. אני מאחל לבאי הכנס דיונים פוריים ומקוה שהשילוב של המומחים מהדיספלינות השונות מצד המחקר, המומחים לתכנון הרחב ולתכנון הפרטני, ומקבלי החלטות ברמת המינהל העירוני, האיזורי והארצי, יביאו לא רק להבנה יותר טובה של הבעיות, אלא גם לתכנון יותר נכון של המתקנים והמערכות בקנה מידה פרטני, ובקנה מידה מערכתי ולאכיפה של הנוהלים. תודה, ובהצלחה לכם בכנס.

מר עמרם מצנע - ראש העיר חיפה

פרופי סולן ביטא באופן מוצלח את תחושותי כמי שניתן לומר עליו שהוא מייצג בכנס זה את ה"נושמים". בדרך כלל הציבור הרחב לא מייצג את עצמו ולא מיוצג דיו בכנסים מדעיים ויש לכך משמעויות. ראשית, ברצוני לברך על קיומו של יום העיון הזה ועל הנסיון להתמודד עם השאלה האם התקנים הקיימים היום מגינים עלינו. האם האויר שאנו נושמים הוא נקי והסביבה שבה אנחנו חיים היא באמת נקיה ואיננה פוגעת בבריאותנו? אני חושב שבשנים האחרונות, יותר ויותר יש אכן עמידה בתקנים בהשוואה לשנים קודמות. אני מניח שבנושא זה ירחיב את הדיבור פרופי נועם גבריאלי שהוא גם יושב ראש איגוד ערים לאיכות הסביבה באיזור חיפה והמפרץ. בדרך כלל בשנים האחרונות, המערכת המייצרת את הזיהום עומדת בתקנים שנקבעו לה. אולם, השאלה שנשאלת היא האם זה מספיק? השאלה צפה ועולה ככל שאנו מתקדמים ביכולתנו לעשות הבחנה טובה יותר, ללמוד אודות התנהגות החלקיקים באויר, ולבחון האמנם תקנים אלה טובים דיים. יתכן וככל שאנו מצליחים לעמוד בתקנים שנקבעו, יש צורך כפי שנעשה בתחומים רבים נוספים, להעלות את הרף להציב תקנים יותר מחמירים, תקנים שמטפלים בנושאים רבים יותר ועל ידי כך להגיע לאיזה שהוא יעד בלתי נחוזה, לאויר נקי, מים נקיים, סביבה נקיה, שבסופו של דבר הם בנפשנו תרתי משמע. כמי שעומד בראש המערכת הציבורית כאן בחיפה, כמי שמכיר את הבעיה בחיפה, אני רוצה להדגיש כי אנו כולנו מודעים לפוטנציאל העצום והגדול הקיים בעיר בנושא איכות חיים. מצד שני, אנו מודעים, נושמים וחיים בתוך עשן, אבק, וחלקיקים שונים שמסכנים את בריאותנו. על כן, יום עיון זה חשיבותו גדולה ואני מקווה שהוא יפיק מסקנות שניתן יהיה ליישם אותן. אנו אנשי הציבור ביחד עם אנשי התעשייה ואנשי המקצוע, מחוייבים ואחראים לעשות כל מה שניתן. בצד פיתוח הכלכלה ויצירת מקומות תעסוקה בעולם המודרני יש לדאוג גם לבריאותנו. אני מאחל כנס מענין ופורח ותודה רבה.

מושב ראשון

יו"ר : ד"ר שמואל ברנר, משנה למנכ"ל המשרד לאיכות הסביבה

בוקר טוב לכולם, נשיאות נכבדה, חברים יקרים. אני מאוד מודה לידידי פרופ' נועם גבריאל שהזמין אותי לשמש היושב ראש של המושב הראשון. לאור מצב איכות האויר בחיפה ושאלת החלקיקים, אין ספק שהמשרד לאיכות הסביבה מייחד משקל רב לבעיות האקולוגיות של אזור חיפה. חשיבות זו באה לכדי ביטוי בפעילות משולבת של הדרג המחוזי במשרד, איגוד ערים, העיריה, מוסדות מחקר וכל יתר השותפים למירקם האקולוגי הענף באזור חיפה.

כאשר מטפלים בנושא השמירה על איכות הסביבה ובריאות הציבור, אין ספק שיש לעבוד על פי סדר עדיפויות מסויים. ניתן לומר כי רשימת המזהמים הכלולה בתקן הישראלי או בתקנים הישראליים לאיכות אויר, מציבה אותנו בין המדינות המתקדמות בעולם ואני מדגיש, מבחינת המרכיבים של התקן וסוגי המזהמים. המטרה היא להגן על איכות הציבור והסביבה. יחד עם זאת, יש לזכור כי חלקיקים ומזהמים אחרים באויר קיימים מאז שנברא העולם. לכן, כאשר אנחנו באים ומטילים הגבלות באמצעות תקנים, יש לבדוק ממה נובעות ההגבלות האלה וכיצד ניתן ליישם אותן. ראשית, חלק גדול ממרכיבי החלקיקים באויר נוצר ממקורות טבעיים, כמו: סופות חול, רססים, ובמקומות אחרים גם פליטות של הרי געש ומקורות אחרים. ברור שלא יעלה על הדעת להטיל תקנים אשר יגבילו את מקורות הטבע בפליטת החלקיקים שלהם. שנית, חייבים לשים לב לא רק לריכוז החלקיקים אלא גם לצורה, לגודל, ולהרכב הכימי. לפעמים, כאשר אנו נוכחים בקיומן של בעיות בריאותיות סביבתיות, טוב יותר להטיל את ההגבלה הריאלית על מקור הפליטה ולא דווקא באזור הנשימה של האדם, היכן שספק אם יש ביכולתנו לשלוט בבעיה. משום כך, מן הראוי לדון גם בהיבט זה ולבחון האם אכן אנו צריכים להחמיר את התקן יותר ויותר. אין לי ספק כי פעולה שכזו תגביר את הפופולריות שלנו כמבצעי מדיניות סביבתית, אולם, יתכן כי אז לא נוכל להגשים את המטרה האמיתית שלנו. במקום זאת, יש להחמיר היכן שניתן ולגבי המזהמים האמיתיים שבידנו לשלוט עליהם במקורות הפליטה. אני בטוח שהמשרד לאיכות הסביבה יתן את ידו לאימוץ מדיניות ריאלית שהיא תהיה לטובת הציבור ובמיוחד לטובת הציבור הסובל באזור חיפה. אבקש להזמין את פרופ' נועם גבריאל שידווח על ממצאים חדשים הקשורים בתמותה עודפת עקב זיהום אויר מחלקיקים.

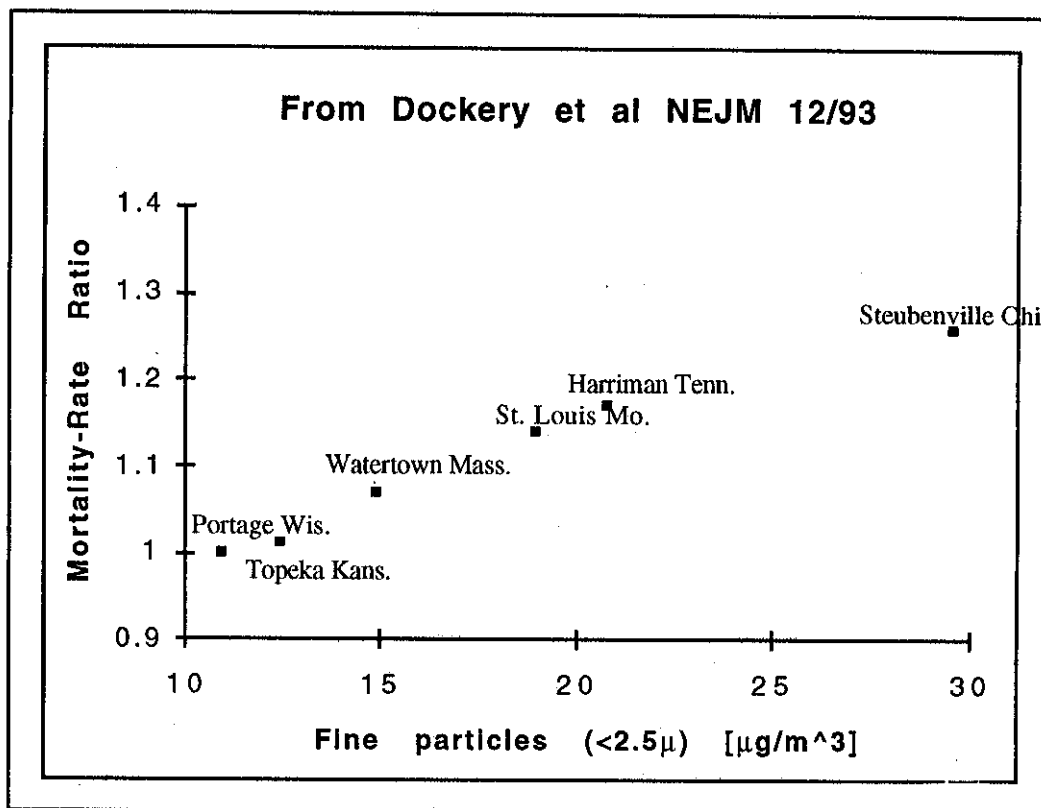
ממצאים חדשים על תמותה עודפת עקב זיהום אויר מחלקיקים

פרופ' נעם גבריאל, היחידה לפיזיולוגיה נשימתית

מכון רפפורט והפקולטה לרפואה, הטכניון

הסיבה הישירה לקיומו של הכנס באה לידי ביטוי בגרף המוצג באיור מס. 1, שפורסם ב-9 לדצמבר 1993 בעתון הרפואי New England Journal of Medicine.

איור 1 - חלקיקים עדינים



באיור מוצגים שיעורי התמותה היחסיים בשש ערים בארה"ב, בהשוואה לרמת זיהום האויר מחלקיקים עדינים במקומות אלה (ראה הגדרות להלן). שמות הערים מצוינות בגוף האיור. המתאם הינו ברור ומשמעותי מבחינה סטטיסטית. המתאם גם משמעותי מבחינה מהותית והוא מצביע על כך ששיעור התמותה גדל ככל שריכוז החלקיקים העדינים באויר עולה.

עבודת המחקר שאיור זה הינו חלק ממנה, בוצעה על ידי קבוצת חוקרים מביה"ס לבריאות הציבור של

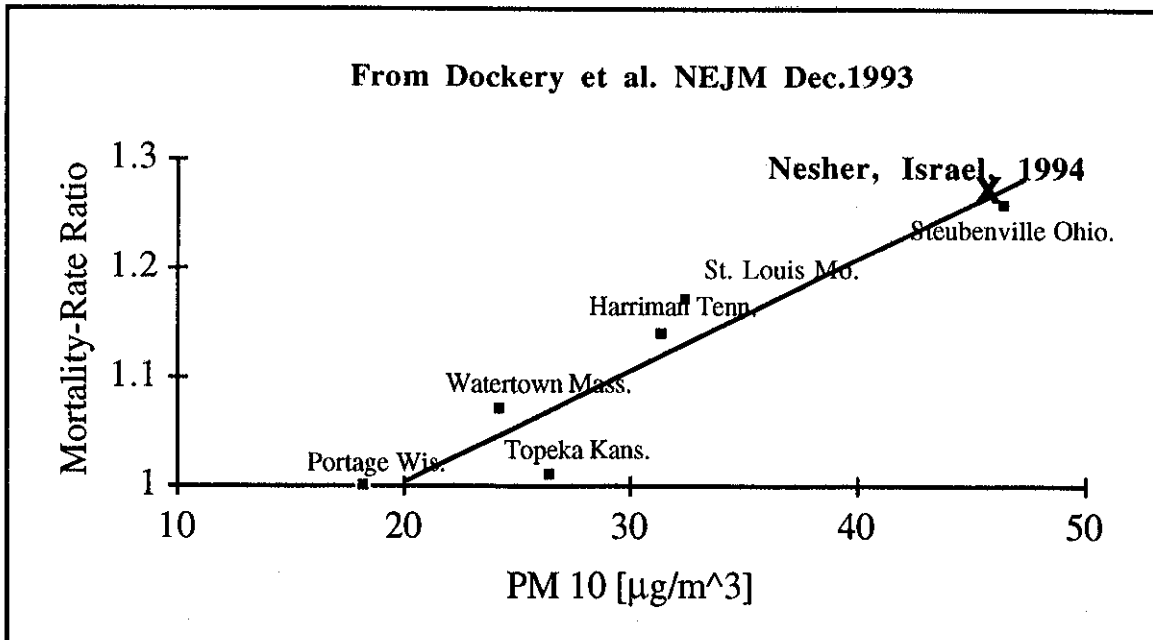
אוניברסיטת הרווארד בארה"ב. המחקר הקיף 8,111 גברים ונשים, משש ערים בארה"ב, בגילים 25-74 במועד תחילת המחקר. החוקרים עקבו אחר התחלואה והתמותה בקבוצת הנבדקים במשך 14-16 שנים, משנת 1976 עד 1991. במקביל נמדדו רמות זיהום האויר היומיות בכל אחת מהערים.

הפרמטרים שנמדדו כללו, מלבד גיל ומין, גם הרגלי עישון, רמת השכלה, השמנת יתר וחשיפה תעסוקתית לאבק ואדים רעילים. הפרמטרים הסביבתיים שנמדדו כוללים:

1. **סך כל החלקיקים המרחפים (TSP) Total Suspended Particles**
 טווח הערכים: 34.1 - 89.9 מיקרוגרם למ"ק
 התקן הישראלי: 200 מיקרוגרם למ"ק ממוצע יממתי
 75 מיקרוגרם למ"ק ממוצע שנתי
2. **חלקיקים נשימים קטנים מ-10 מיקרון (PM₁₀) Particulate Matter < 10**
 טווח הערכים: 18.2 - 46.5 מיקרוגרם למ"ק
 התקן הישראלי: 150 מיקרוגרם למ"ק ממוצע יממתי
 60 מיקרוגרם למ"ק ממוצע שנתי
3. **חלקיקים נשימים עדינים (קטנים מ-2.5 מיקרון) Fine Particulate Matter < 2.5 (PM_{2.5})**
 טווח הערכים: 11.0 - 29.6 מיקרוגרם למ"ק
 התקן הישראלי: אין
4. **חלקיקי סולפט Sulfate Particles**
 טווח הערכים: 5.3 - 12.8 מיקרוגרם למ"ק
 התקן הישראלי: 25 מיקרוגרם למ"ק ממוצע יממתי
 אין תקן לממוצע שנתי

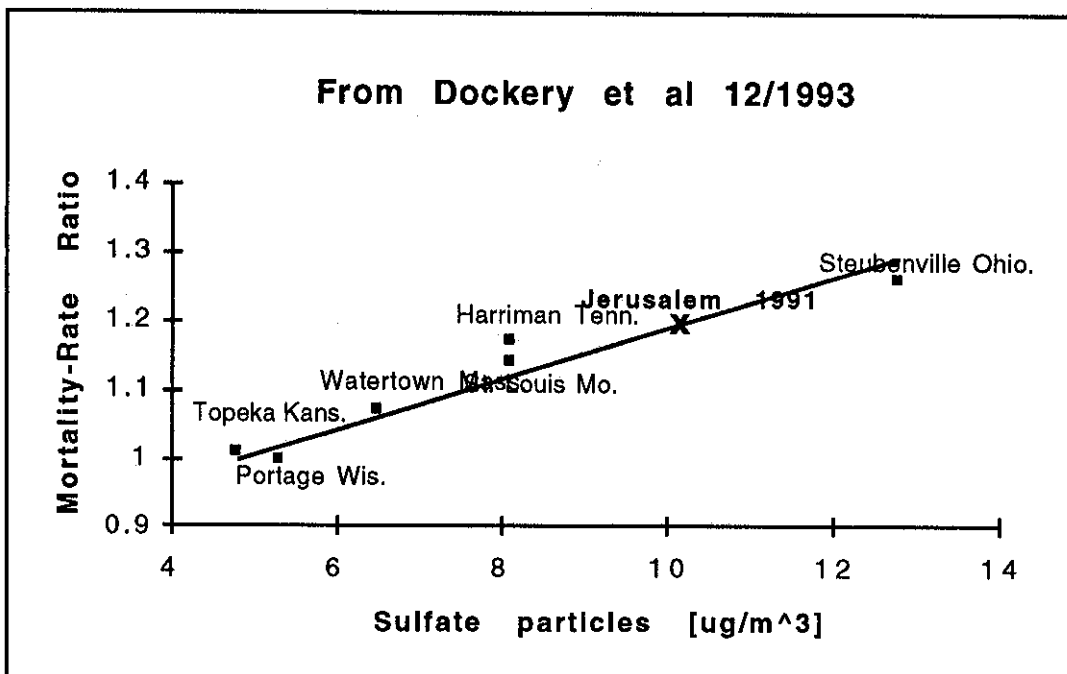
כמו כן נמדדו חומציות התרסיסים, ריכוזי דו-תחמוצת הגופרית, תחמוצות חנקן ואוזון. כפי שצויין לעיל, עודף התמותה נמצא במתאם גבוה ביותר עם ריכוז החלקיקים הנשימים העדינים, שקוטרם קטן מ-2.5 מיקרון. בנוסף, נמצא גם מתאם בעל מובהקות סטטיסטית גבוהה בקשר שבין התמותה לבין ריכוז החלקיקים הנשימים שקוטרם מתחת 10 מיקרון (PM₁₀) ועם ריכוז חלקיקי הסולפט. (ראה איורים 2 ו-3).

איור מס. 2 - תמותה יחסית וחלקיקים נשימים קטנים מ-10 מיקרון:



* המידע לגבי הערך הנמדד ב 1994 בנשר ממערך הניטור של איגוד ערים חיפה לאיכות הסביבה

איור מס. 3 - תמותה וחלקיקי סולפט

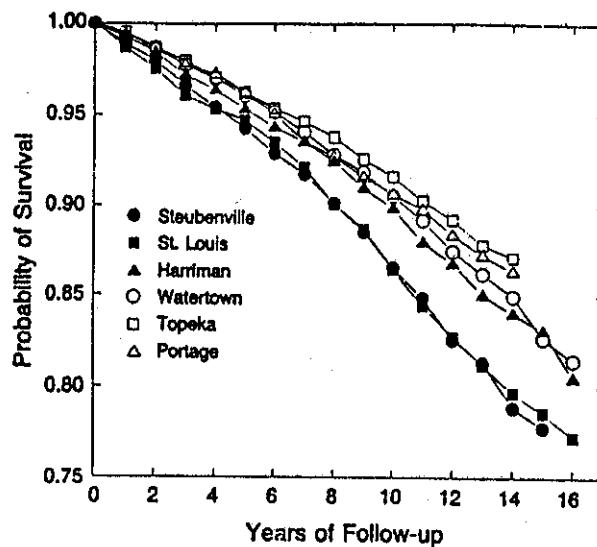


* המידע לגבי הערך הנמדד ב 1991 בירושלים נמסר באדיבותו של פרופי לוריא מהאוניברסיטה העברית בירושלים

לפני שנמשיך בעיון בתוצאות מחקר זה ודומיו עלינו להבהיר מה משמעות המושג "יחס קצבי תמותה" Mortality Rate Ratio - RR. תחילה, המושג RR מוגדר כמספר האנשים מכל 1000 תושבים שנפטרו בשנה מסוימת בעיר או אזור, באופן יחסי לרמת ייחוס בסיסית. בעבודה שסקרנו לעיל, נבחרה התמותה השנתית בעיירה Portage (Wisconsin), בה היו רמות זיהום האויר (והתמותה) הנמוכות ביותר כרמת בסיס לצורך השוואת שיעורי התמותה בערים האחרות. במחקרים אחרים הוגדר RR כשינוי שיעור התמותה עם שינוי (עליה) של 10 מיקרוגרם למ"ק בריכוז החלקיקים הנשימים (PM10).

המשמעות המעשית של קצב תמותה יחסי הגבוה מ-1.0 הינה שיותר אנשים מתים בשנה, ובמלים אחרות - פחות אנשים חיים כל שנה. הדבר מומחש היטב מהאיור מס. 4 להלן:

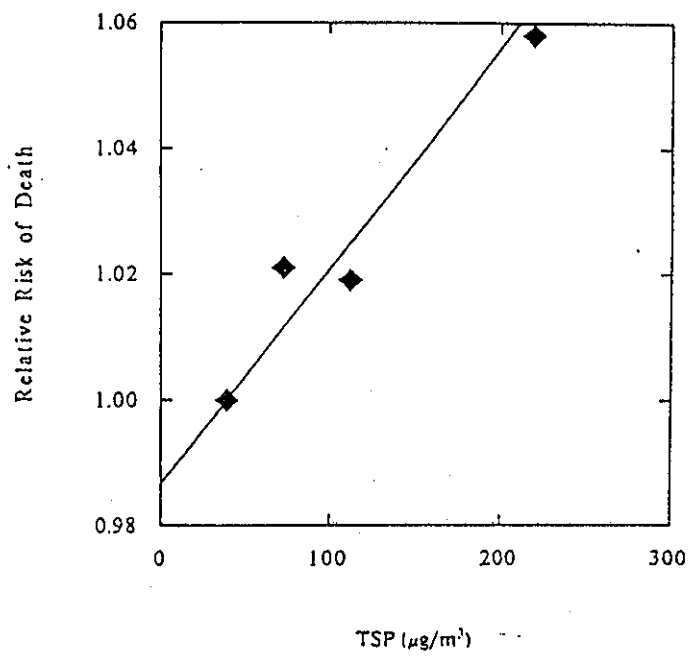
איור מס. 4 - הסיכוי לחיות כנגד זמן בשנים



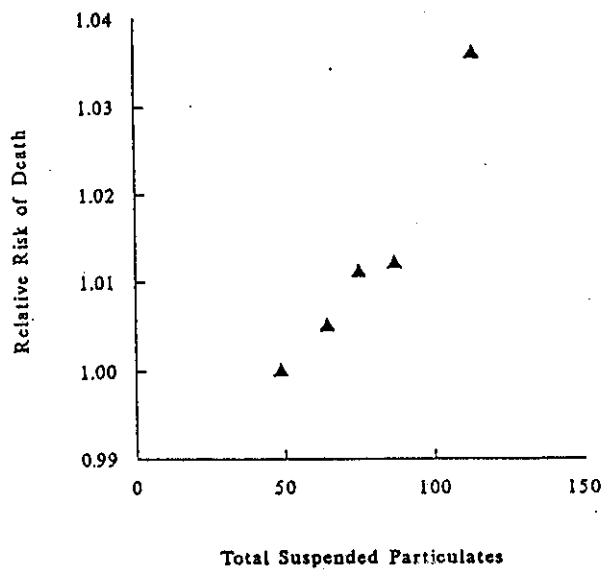
באיור מתואר הקשר בין הסיכוי לחיות עם חלוף הזמן. באופן טבעי אנשים מתים כל הזמן, אולם במחקר זה, נמצא במהלך המעקב שנערך בעיירה Steubenville (Ohio), בה רמת זיהום האויר מהחלקיקים היתה הגבוהה ביותר, כי אנשים רבים יותר מתו במהלך השנים מאשר ב-Portage, בה רמת הזיהום היתה הנמוכה ביותר.

המחקר שפורסם ב-NEJM אינו היחיד ואינו הראשון הקושר באופן חד וברור בין תמותה וזיהום אויר מחלקיקים. חשיבותו בכך שערך מעקב פרוספקטיבי רב שנים ורב היקף בציר המרחב, תוך הקפדה יתרה על דיקנות העיבוד הסטטיסטי של התוצאות. מחקרים אחרים בחנו את הקשר בין זיהום אויר מחלקיקים ותמותה בציר הזמן. כלומר, בדקו במקום יישוב ספציפי את שיעור התמותה היומי כפונקציה של הממוצע היממתי של ריכוז החלקיקים, באותו אזור, באותו יום, או ביום שקדם לו. באיורים שלהלן מוצגות מספר דוגמאות לכך:

איור מס. 5 - הממצאים היומיים של Steubenville



איור מס. 6 - הממצאים היומיים של Philadelphia



גם בעבודות שבהן נבדקים המתאמים בציר הזמן, בהם האוכלוסיה היא קבועה, יש צורך לשלוט ולנטרל אותם פרמטרים אשר עלולים להשפיע בעת ובעונה אחת גם על התמותה היומית וגם על זיהום האויר. משתנים כאלו כוללים את השנויים העונתיים, השפעות מזג האויר (טמפרטורה ולחות) ונוכחות מזהמים אחרים באויר בו זמנית. בעבודות עליהן אנו מסתמכים, נוטרלה השפעת הגורמים המשולבים (Confounding Factors) בשיטות סטטיסטיות, כך שהתוצאה המדווחת מתיחסת להשפעה נטו של זיהום האויר מחלקיקים. סכום של עבודות מחקר אלו שבוצעו בשנים האחרונות (ראה לוח מס. 1) מצביע על כך שעליה ב-10 מיקרוגרם למ"ק בריכוז PM₁₀ גורמת לעליה בת 0.96% בתמותה.

לוח מס. 1 - סיכום הערכת השמעת השינוי ב-PM₁₀ על התמותה - סיכום ממחקרים שונים

City	Author	Original measure	Mean PM ₁₀ equivalent	Estimated % change in mortality due to 10 µg/m ³ change in PM ₁₀	
				Mean	Lower and upper bounds*
London, England	Mazumdar et al. (1982); Ostro (1984, 1985); Schwartz and Marcus (1986, 1990)	BS	80	0.31	0.29, 0.33
Ontario, Canada	Plagiannakos and Parker (1988)	Sulfate	48	0.98	0.49, 1.47
Steubenville, OH	Schwartz and Dockery (1991)	TSP	61	0.64	0.44, 0.84
Philadelphia, PA	Schwartz and Dockery (1991)	TSP	42	1.20	0.96, 1.44
Santa Clara, CA	Fairley (1991)	COH	37	1.12	0.73, 1.51
Los Angeles, CA	Shumway et al. (1988)	KM	65	1.10	0.94, 1.28
100 U.S. cities	Ozkaynak and Thurston (1987)	Sulfate‡	44	1.49	0.92, 2.06
117 U.S. cities	Evans et al. (1984)	Sulfate‡	53	0.72	0.34, 1.10
197 U.S. cities	Lipfert et al. (1988)	Sulfate‡	38	1.09	0.55, 1.64
Overall				0.96	% 0.63, 1.30

Notes: BS = British smoke, TSP = total suspended particulates, COH = coefficient of haze, and KM = reflectance measure of particulate matter.
 *Based on ± one standard error.
 ‡ Uses long-term average.

יש להדגיש שבכל המחקרים שבוצעו, נמצא קשר לינארי מתמשך בין התמותה וריכוז החלקיקים. באף עבודה לא נמצאה נקודת סף או שבירה בעקומות. משמעות הדבר היא שאין אפשרות להצביע, נכון להיום, על כך שקיים ערך כלשהו שאנו יכולים להגדירו כ"סביר" או "בטוח" לבריאות האדם, בטווח הערכים שנמדדו במחקרים המדווחים. עוד יש להדגיש שערכי זיהום האויר שנמדדו ושנמצאו בהם מתאמים חיוביים כפי שהומחש לעיל, נמצאים בהחלט בתוך תחום הערכים של התקן הישראלי לזיהום אויר מחלקיקים!

הממצאים לגבי תמותה אינם עומדים בפני עצמם. ממחקרים אחרים עולה מתאם בעל מובהקות סטטיסטית דומה בין ריכוזי החלקיקים הנשימים באויר לבין תחלואה עודפת. נמצא שסיבות המוות העיקריות הן מחלות ריאה חסימתיות, דלקות ריאות, מחלות לב וסרטן. גורמי סיכון המגבירים את שיעור התמותה בהקשר לרמות חלקיקים גבוהות, כוללים בראש ובראשונה עישון, ובנוסף - מחלות ריאה חסימתיות כרוניות, וגיל מתקדם כמוצג באיור מס. 7.

איור מס. 7 - סיכון יחסי לפי גיל וסיבת המוות

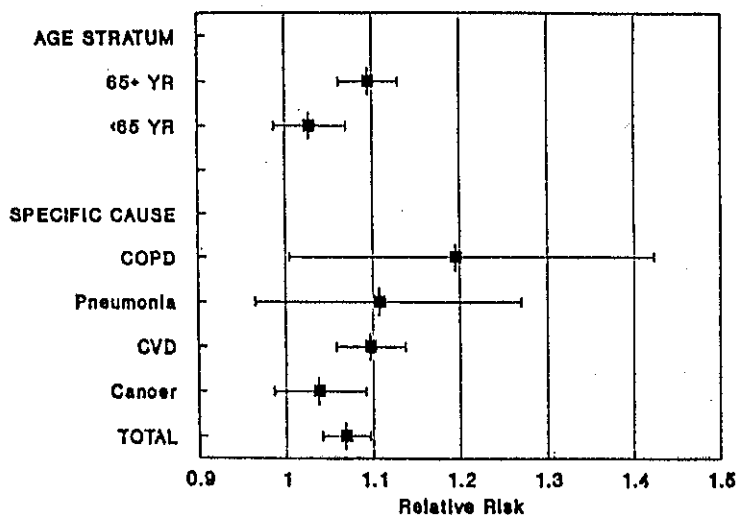


Fig. 2. Relative risk of mortality in Philadelphia associated with a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in total suspended particulates (TSP) concentration after controlling by regression for year of study, time trend, and weather. Results for all-cause mortality, age-stratified mortality, and cause-specific mortality.

המשמעות הכמותית של ממצאים אלו לגבי מדינת ישראל, על פי תחשיב שערכתי הינה שהורדת ריכוזי המזהמים עקב חלקיקים נשימים במדינת ישראל בשיעור של 20 מיקרוגרם למ"ק, תביא לירידת התמותה ב-192 אנשים לכל מליון תושבים, שהם 1056 מקרי מוות עודפים בשנה.

מסקנות

קיים מתאם מובהק בין רמות זיהום אויר מחלקיקים נשימים ותמותה עודפת. מתאם זה נמצא בתחום המותר על פי התקן הישראלי הקיים לחלקיקים. התמותה העודפת נובעת מעודף תחלואה במחלות ריאה, במחלות לב וכלי דם, ומסרטן. שיעור התמותה העודפת המשוערכת למדינת ישראל הינה כ-1000 מקרי מוות עודפים בשנה.

המלצות

1. התקן הישראלי לחלקיקים אינו נותן הגנה מספקת על בריאות הציבור ויש להחמירו.
2. יש לשנות את התקן הישראלי ל-PM10 ולהעמידו, בשלב ראשון, על 50 מיקרוגרם למ"ק ממוצע יממתי, ו-20 מיקרוגרם למ"ק ממוצע שנתי. יש להבהיר שערכים אלו הינם לתקופת ביניים ולא מן הנמנע שיהיה צורך להחמירם עוד יותר בעתיד.
3. יש להחמיר את התקן הישראלי לחלקיקי סולפט, ובמיוחד לקבוע תקן לממוצע שנתי שלא יעלה על 5 מיקרוגרם למ"ק.
4. יש לקבוע תקן ישראלי לחלקיקים נשימים עדינים - PM2.5 - שערכו לא יעלה בממוצע שנתי על 10 מיקרוגרם למ"ק.
5. יש לעבות ולשכלל את מערך ניטור החלקיקים במדינת ישראל ולכלול במדידות גם חלקיקים נשימים עדינים.
6. יש להתייחס בחומרה רבה לחריגות מהתקנים הסביבתיים המחמירים. יש להוציא צווים מפעליים ואישיים לגורמים הפולטים זיהום אויר חלקיקי ולהגביר את האכיפה כנגד זיהום אויר מרכב מנועי.
7. יש צורך במעקב אפידמיולוגי אחר האפקטיביות של הצעדים שיינקטו, לקראת האפשרות שיהיה צורך בהחמרת התקנים בשלב ב'.

הגדרות

1. זיהום אויר מחלקיקים מרחפים - Total Suspended Particles (TSP)
2. זיהום אויר מחלקיקים נשימים קטנים מ-10 מיקרון - Particulate matter < 10 Micron (PM10)
3. חלקיקים נשימים עדינים - Particulate matter < 2.5 Micron (PM2.5)
4. תמותה עודפת - Excess Mortality - מספר מקרי המוות באוכלוסייה מעבר לרמת ייחוס בסיסית.
5. יחס שכחות - Rate Ratio: שינוי תמותה (או תחלואה) באחוזים לכל עליה בשיעור 10 מיקרוגרם למ³ של PM10.

רשימה ביבליוגרפית

- Anderson, K.R., Avol, E.L., Edwards, S.A., Shamoo, D.A., Peng, R.C., Linn, W.S., Hachney, J.D.(1992). "Controlled exposures of volunteers to respirable carbon and sulfuric acid aerosols", **J. Air Waste Manage. Assoc.** 42(6):770-6.
- Anonymous (1990). "Atmospheric pollution in the city of Santiago. A statement from the Chilean Society of Respiratory Diseases (Spanish)" **Rev. Med Chil** 118(8):913-5.
- Barnes, P.J. (1994). "Air pollution and asthma (a review)", **Postgrad. Med. J.**70(823), 319-25.
- Chen, L.C., Miller, P.D., Lam, H.F., Guty, J., Amdur, M.O. (1991). "Sulfuric acid-layered ultrafine particles potentiate ozone-induced airway injury", **J. Toxicol. Environ. Health** 34(3)337-52.
- Crebelli, R., Fuselli, S., Conti, G., Conti, L., Carere, A., (1991). "Mutagenicity spectra in bacterial strains of airborne and engine exhaust particulate extracts", **Metat Res** 2611(4):237-48.
- Dockery, D.W., Arden Pope, C., Xiping, X.U., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G. and Speizer, F.E. (1993). "An association between air pollution and mortality in six U.S. cities", **The New England Journal of Medicine**, (329), No. 24.
- Dockery, D.W., Schwartz, J., Spengler, J.D. (1992). "Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols", **Environ. Res.** 59(2):362-73.
- Koutrakis, P., Brauer, M., Briggs, S.L., Leaderer, B.P. (1991). "Indoor exposures to fine aerosols and acid gases", **Environ Health Prospect**, 95:23-8.
- Marzin, C., Le Moullec, Y., Ancelle, T., Juhel, J., Festy, B., Pretet, S., (1993). "Asthma, urban atmospheric pollution and the weather", (in French), **Rev. Mal. Respir.** 10(3):229-35.
- Ostro, B., (1993). "The association of air pollution and mortality: examining the case for inference (Review)", **Arch. Environ. Health** 48(5): 336-42.
- Pedersen, M., (1990). "Ciliary activity and pollution (Review)" **Lung** 168 Suppl:368-76.
- Pinter, A., Bejcki, K., Csik, M., Kelecsenyi, Z., Kertesz, M., Surjan, A., Torok, G. (1990). "Mutagenicity of emission and immission samples around industrial areas", **IARC Sci Publ** (104):269-76.
- Rossi, O.V., Kinnula, V.L., Tienari, J., Huhti, E. (1993). "Association of severe asthma attacks with weather, pollen and air pollutants", **Thorax**, 48(3): 244-8.

- Rusznak, C., Devalia, J.L., Davies, R.J. (1994). "The impact of pollution on allergic disease", (Review), **Allergy**, 49(18 Suppl.): 21-7.
- Scheepers, P.T., Bos, R.P., (1992). "Combustion of diesel fuel from a toxicological perspective. I. Origin of incomplete combustion products (Review)", **Int. Arch Occup Environ Health**, 64(3):149-61.
- Schwartz, J. (1994). "Air pollution and hospital admissions for the elderly in Birmingham, Alabama", **Am. J. Epidemiol.** 15; 139(6):589-98.
- Schwartz, J. (1994). "Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis", **Environ. Res.** 64(1): 36-52.
- Schwartz, J. (1994). "Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan", **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, 150(3):648-655.
- Schwartz, J. (1993). "Particulate air pollution and chronic respiratory disease", **Environ. Res.** 62(1): 7-13.
- Schwartz, J. (1991). "Particulate air pollution and daily mortality: a synthesis", **Public Health Rev** 19(1-4):39-60.
- Schwartz, J., (1991). "Particulate air pollution and daily mortality in Detroit", **Environ. Res.** 56(2): 204-13.
- Spektor, D.M., Hofmeister, V.A., Artaxo, P., Brague, J.A., Echelar, F., Nogueira, D.P., Hayes, C., Thurston, G.D., Lippmann, M., (1991). "Effects of heavy industrial pollution on respiratory function in the children of Cubatao, Brazil: A preliminary report. **Environ. Health Perspect** 94:51-4.
- Stern, B.R., Raizenne, M.E., Burnett, R.T., Jones, L., Kearney, J., Franklin, C.A. (1994). "Air pollution and childhood respiratory health: exposure to sulfate and ozone in 10 Canadian rural communities." **Environ. Res.** 66(2): 125-42.
- Tatoschenko, W.K., Nesterenko, S.W. (1990). "Effect of moderate pollutant concentrations in the air and incidence of respiratory diseases in children (German)", **Z Erkr Atmungsorgane** 174(3):185-9.
- Tornqvist, M., Ehrenberg, L., (1992). "Risk assessment of urban air pollution (Review)", **Pharmacogenetics**, 2(6):297-303.
- Tseng, R.Y., Li, C.K., Spinks, J.A. (1992). "Particulate air pollution and hospitalization for asthma", **Ann. Allergy**, 68(5):425-32.
- Yu, S.Y., (1991). "Study on mutagenicity of size-fractionated air particles" (in Chinese), **Chung Hua Yu Fang I Hsueh Tsa Chih**, 25(2):70-4.
- Zmirou, D., Dechenaux, J. (1991). "The joint effects of various atmospheric pollutants: a meta-analysis (French)" **Rev Epidemiol Sante Publique** 39(1):101-10.

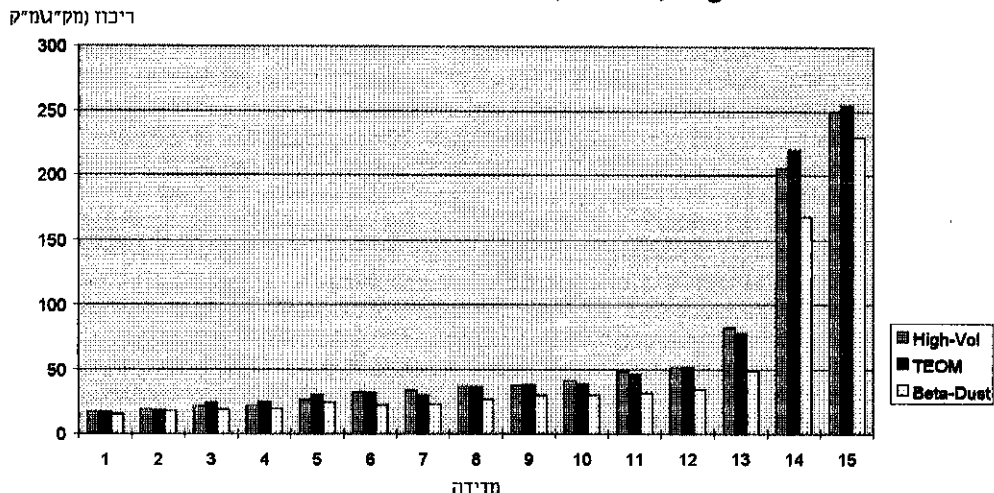
זיהום אוויר מחלקיקים באזור חיפה - תמונת מצב

ד"ר ברננדה פליקשטיין - סמנכ"ל איגוד ערים חיפה לאיכות הסביבה

תקנות למניעת מפגעים (איכות אוויר), התשנ"ב-1992, מגדירות כזיהום אוויר חזק או בלתי סביר של האוויר, הימצאותם של חלקיקים באוויר בריכוז העולה על 300 מיקרוגרם למ"ק בממוצע של 3 שעות, 200 מיקרוגרם למ"ק בממוצע יממתי, ו-75 מיקרוגרם למ"ק בממוצע שנתי. בנוסף לכך, ישנה הגבלה לגבי ריכוזם באוויר של חלקיקים בעלי קוטר קטן מ-10 מיקרון (PM10), שהיא 150 מיקרוגרם למ"ק בממוצע יממתי ו-60 מיקרוגרם למ"ק בממוצע שנתי. בתקן קיימת גם התייחסות לאבק שוקע וההגבלה לגביו היא 20 טון לקמ"ר לחודש. באשר להרכב החלקיקים, החוק מגדיר ריכוזים מרביים של ונדיום, סולפטים, פוספטים, עופרת וקדמיום בחומר החלקיקי המרחף, ופוספטים באבק השוקע.

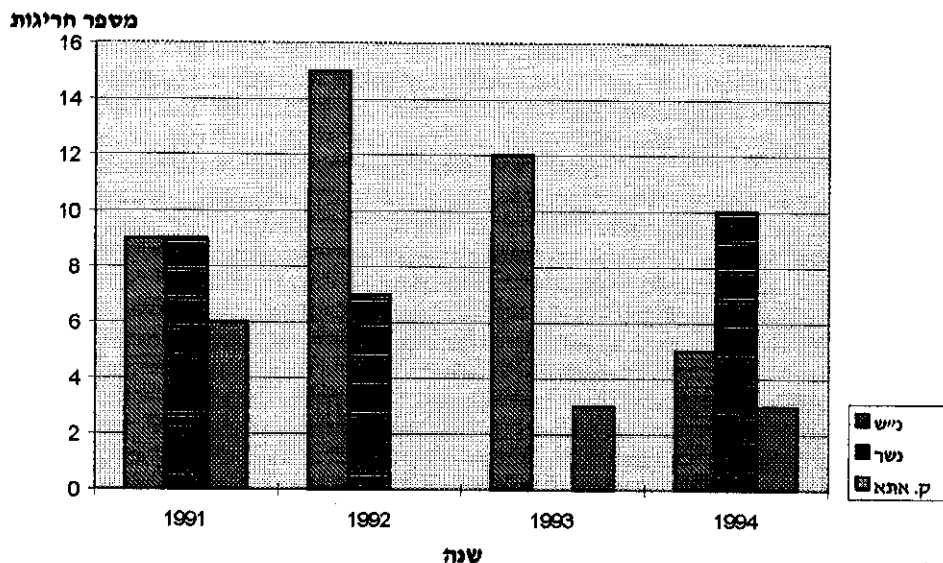
איגוד ערים חיפה לאיכות הסביבה מנטר החל מ-1990 את איכות האוויר בדבר חומר חלקיקי (PM10) בשלוש תחנות ניטור, הממוקמות בנווה שאן, בנשר ובקרית אתא באמצעות מכשירים רציפים מסוג Beta Dustmeter. עיקרון המדידה של מכשירים אלו מבוסס על קביעת כמות החלקיקים הנקלטים במסנן של סיבי זכוכית ע"י בליעת קרינת פחמן 14, הנמדדת באמצעות מונה גייגר מילר. מכשירים אלו מכוילים כל שישה חודשים באמצעות מכשיר לא רציף מסוג High Volume, בו מדידת החלקיקים נעשת ע"י שקילתם על גבי מסנן של סיבי מיקרו קוורץ. ממצאי הכיול מצביעים על סטיות של כ-20%. לאחרונה ביצע האיגוד תרגיל כיול והשוואה משלים באמצעות מכשיר רציף מסוג TEOM (Element Oscillating Microbalance Tapered) (שמבוסס על מדידות תדירות התנודה של מסנן קוורץ שבו שקעו החלקיקים. השוואת ממצאי הניטור בין שלושת המכשירים, (מכשיר Beta, מכשיר High Vol, ומכשיר TEOM), הצביעה על התאמה טובה יותר בין המכשיר TEOM לבין המכשיר High Vol (שהוא כאמור המכשיר הסטנדרטי) מאשר בין מכשיר Beta לבין מכשיר High Vol.

Beta, TEOM, High-Vol - השוואת תוצאות ניטור חלקיקים



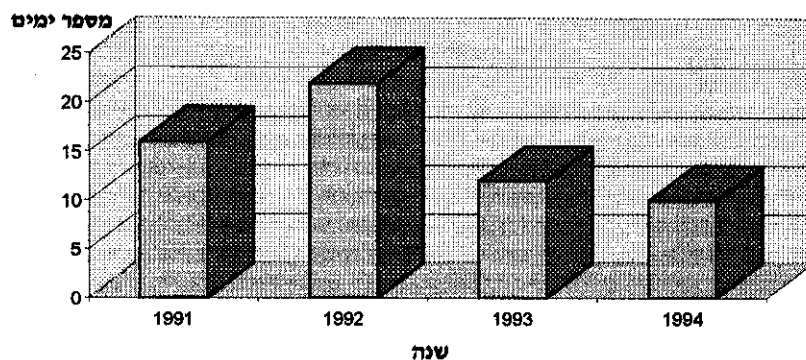
ממצאי הניטור מצביעים על חריגות מהתקן היממתי בדבר PM10 בכל אחת מתחנות הניטור ובכל שנות המדידה. מספר החריגות נע בין 3 חריגות בשנה (קרית אתא 1993), ל 15 (נווה שאנן 1992). אפשר גם לציין שבתחנת הניטור בקרית אתא מספר החריגות היה קטן יותר, בזמן שמספר החריגות בתחנות הניטור בנווה שאנן ובנשר היה באותו סדר גודל.

חריגות מתקן איכות אויר-חומר חלקיקי עדין 24 שעות



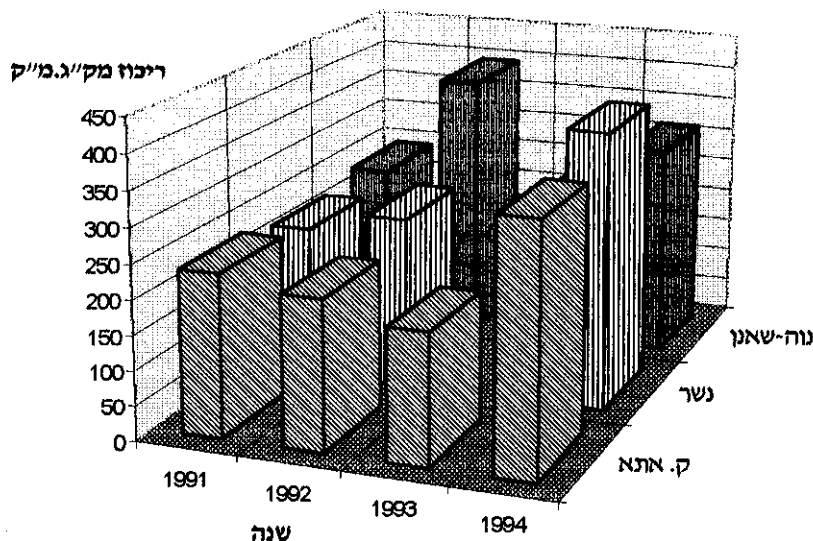
סיכום מספר הימים בהם נרשמו חריגות מהתקן בדבר PM10, באחת או יותר מתחנות הניטור, נע בין 22 ימים ב-1992 (6% מהזמן), ל-10 ימים חריגים ב-1994, (2.7% מהזמן).

מספר ימים בהם חרגה איכות האוויר מהתקן לחומר חלקיקי עדין באיזור חיפה



ערך החריגות המרביות בכל אחת מתחנות הניטור ובכל שנות המדידה עובר את התקן בלמעלה מ-100%.

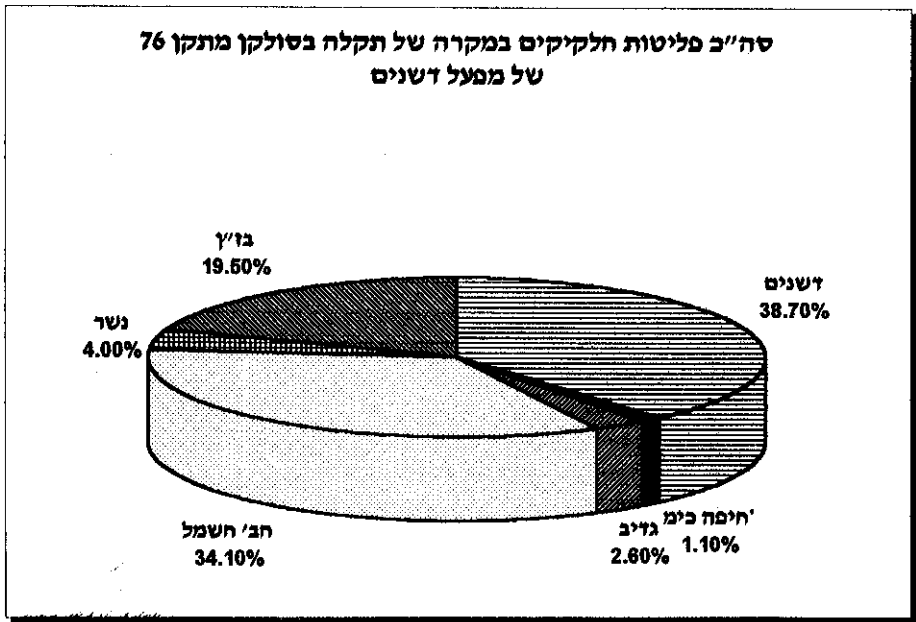
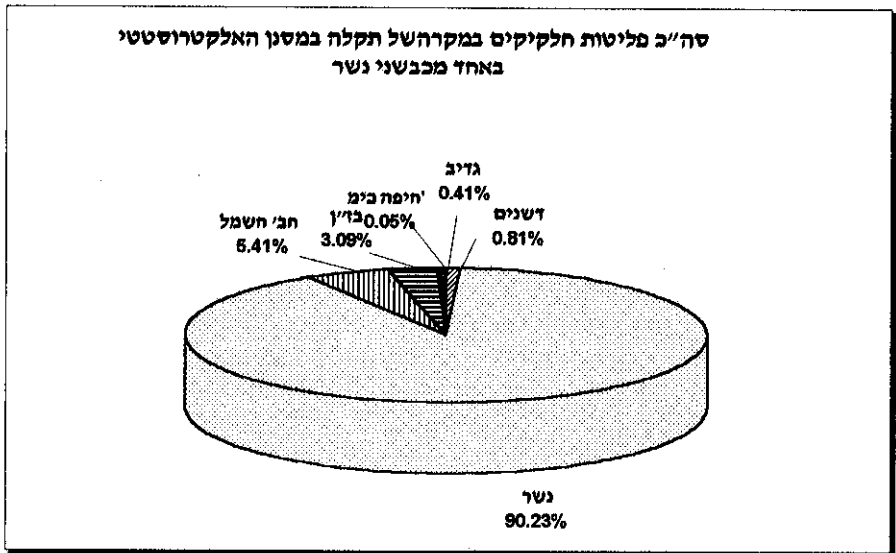
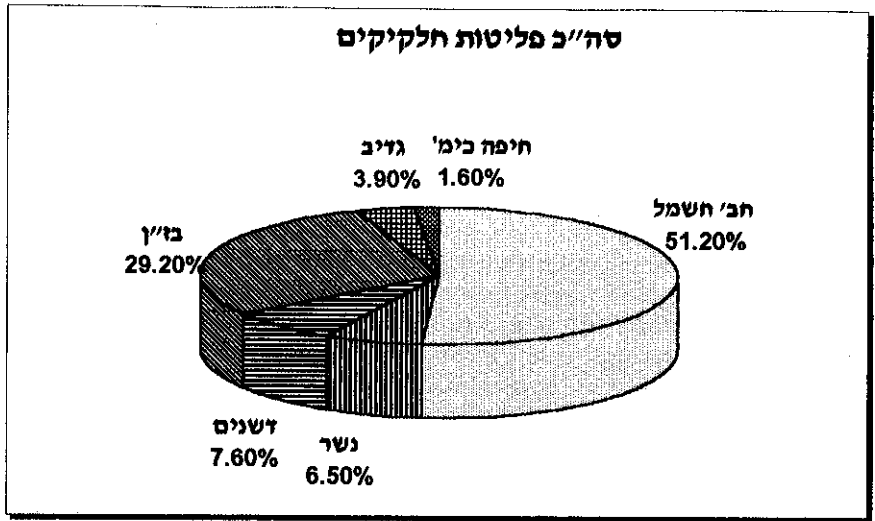
חומר חלקיקי ממוצע יממתי מירבי שנתי
1991-1994



באשר לממוצע השנתי, לא נרשמו חריגות מהתקן השנתי, יחד עם זאת, יש לציין שהערכים השנתיים התקרבו מאוד לתקן ב-1991 וב-1992, כאשר בשאר שנות המדידה נעו בין 50% לבין 75% מהתקן.

בנוסף לניטור של PM_{10} , נערכו ב-1988-89 וב-1993 מספר בדיקות של הרכב החומר החלקיקי המרוחק בדבר קדמיום, עופרת, סולפטים ופוספטים. ממצאי הניטור הצביעו על חריגות בדבר ריכוז הסולפטים (מתוך 13 ימים בהם בוצעו המדידות ב-5 נמצאו חריגות מהתקן), בזמן שרמות שאר המזהמים נמצאו במידה ניכרת מתחת למצוין בתקן.

התורמים העיקריים של חומר חלקיקי באזור חיפה, למעט האבק הטבעי, הם מפעלי התעשייה ובעיקר צרכני הדלק הגדולים: תחנת הכוח של חברת החשמל (51.4%), בית הזיקוק (29.2%) ומפעל גדיב (3.9%). שאר מקורות החלקיקים הם מפעל דשנים (7.6%), מפעל נשר (6.5% ארובות בלבד) ומפעל חיפה כימיקלים (1.6%). תמונה זאת משתנת בצורה מאוד משמעותית בזמן שבאחד ממפעלים אלו יש תקלה במתקן לצמצום החלקיקים. כך למשל, אם המסנן האלקטרוסטטי באחד מכבשני המלט במפעל נשר אינו פועל, מפעל זה הופך להיות התורם הדומיננטי (מעבר ל-90%). באותה מידה, אם הסולקן במתקן 76 ב"דשנים" אינו תקין, התרומה היחסית של מפעל דשנים עולה ממספר אחוזים בודדים לכ-40%.



להבדיל מתקני איכות אויר, שהם תקנים ארציים, הגבלת פליטת חלקיקים ממפעלים נעשת באזור חיפה במסגרת צווים אישיים (וזאת בהעדר תקני פליטה ארציים) והיא שונה ממפעל למפעל. הצווים האישיים כוללים, בנוסף לתקני פליטה, חובת בדיקות ארובה, מדידה רציפה של אטימות (שהיא תלויה, בין היתר, בריכוז החלקיקים בגזי הפליטה) רישומים ודיווחים, שהם המקור למידע המוצג פה.

יש לציין שכל המפעלים שהוזכרו לעיל עומדים בדרישות הצווים האישיים, וזאת משתי סיבות:

1. צימצום ניכר של הפליטה עקב נקיטת אמצעים של שיפור שריפה ושימוש מוגבר בדלקים דלי גופרית (חברת חשמל, בתי זיקוק, גדיב), או התקנת מיתקנים לצימצום פליטת החלקיקים (סולקנים ב"חיפה כימיקלים" ו"דשנים").

2. הדרישות בדבר פליטות חלקיקים אינן מחמירות במיוחד ומאפשרות לעתים רמות של פי 10 מהמקובל במדינות אחרות כדוגמת הולנד.

האם יש צורך להחמיר את התקנים לפליטת חלקיקים ?

קריטריון מקובל לקביעת הצורך בהחמרת תקן הפליטה הוא היחס בין איכות האוויר הנמדדת לבין תקן איכות האוויר עבור אותו מזהם. ככל שיחס זה גדול מ-1, נחוץ יותר להחמיר את תקן הפליטה. בדיקה מסוג זה באזור חיפה מצביעה על הצורך לכוון את מירב המאמצים להגבלת פליטות החלקיקים, ולא הגופרית הדו-חמצנית, כנהוג לחשוב.

	א=איכות אויר נמדדת	ב= תקן איכות אויר	א:ב
חלקיקים	400	150	2.6
גופרית דו-חמצנית	1400	1000	1.4

יחד עם זאת, יש לציין שחלק מהחריגות בדבר חלקיקים נגרם ע"י אבק טבעי. ניתוח איכותי של סיבות התריגות (חלקיקים ממקור טבעי או אנטרופוגני), המבוסס על השוואות המדידות שנרשמו בתחנות ניטור שונות, תוך התייחסות לפרמטרים מטאורולוגיים, מצביע על כך שכ-30% מהחריגות נגרמות ע"י זיהום תעשייתי, ולכן ישנו צורך בהחמרת תקני הפליטה בדבר חומר חלקיקי.

מושב שני

פרופ' מ. לוריא, יו"ר, מנהל ביה"ס למדע ישומי, מדעי הסביבה, האוניברסיטה העברית.

אני שמח לפתוח את המושב השני של הכינוס הזה, שזכה אני בטוח להיענות מעל ומעבר למה שציפו המארגנים. חשוב שמצליחים להגיע לקהל רחב בנושא כל כך חשוב. ברצוני להציג בקצרה שקף המציג תוצאות ממחקר שנעשה בארצות הברית, מחקר שהתמשך על פני 20 שנה שפורסם לפני שנה בדיוק, על ידי והקבוצה שלו. המחקר הזה עסק ב-6 ערים זה נקרא SIX CITY STUDY והוא מראה את עודף התמותה כתוצאה של זיהום אויר. ממצא זה התקבל לאחר שביצעו עבודה אפידמיולוגית יוצאת מגדר הרגיל וניכו פרמטרים שונים שלא שייכים לזיהום אויר והצליחו להסביר מהו עודף התמותה כתוצאה מחלקיקים קטנים באטמוספירה ובעיקר, נמצא מתאם טוב עם חלקיקים של חומצה גופריתנית או של סולפטים.

המרצה הראשון במושב הזה די"ר אלי גנור שיעסוק בתרומה הטבעית של החלקיקים לזיהום האויר בארץ. די"ר אלי גנור מהמשרד לאיכות הסביבה ואוניברסיטת תל-אביב ידבר על טיבעם של חלקיקים ממקורות טבעיים בטיפוסי מזג אויר האופייניים.

על טבעם של חלקיקים ממקורות טבעיים

בטיפוס מזג אויר אופייניים בישראל

אליעזר גנור

המשרד לאיכות הסביבה, היחידת למשאבי סביבה

שלושה סוגי אירוסולים טבעיים נפוצים בישראל: ימיים, מינרליים ואורגניים. הסוג הרביעי הינו מעשה ידי אדם והם נפלטים לאטמוספירה מכלי רכב, תחנות כוח, תעשיות, מחצבות ופעילויות חקלאיות. החלקיקים הימיים והמינרליים שכיחים בישראל בשל מיקומה הגיאוגרפי בין ים התיכון ומדבריות הסהרה. בשנים האחרונות נמצא קשר ישיר בין ריכוזי אבק ברי נשימה לבין שיעור מחלות הריאה והעליה בתמותה בערים הגדולות והמתועשות. גם בישראל נמצא קשר בין שיעור התחלואה לריכוזי אבק מרחף עירוני וטבעי, בעיקר גרגרי אבקת פרחים וחלקיקים מדבריים. להלן נסקור את סוגי החלקיקים הטבעיים:

החלקיקים הימיים מועלים לאטמוספירה על ידי קצף הגלים. הם מורכבים בעיקר ממלחים אשר זוהו כ- $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4 , Na_2SO_4 , CaSO_4 , $2\text{H}_2\text{O}$, MgCl_2 , NaCl מלחים ברי תמס ומינרליים ואחרים.

החלקיקים המינרליים מועלים לאטמוספירה על ידי הרוח מקרקעות הסביבה, ממרחקים של מטרים ספורים ועד עשרות קילומטרים, ואחרים מוסעים ממדבריות הסהרה, לוב, מצרים, ערב הסעודית, מרחקים של אלפי קילומטרים. כפי שניתן לראות בציור מס. 1, מוסע אבק מדברי מצרים וסיני לעבר ישראל מעל ים התיכון אל קפריסין ודרום תורכיה.

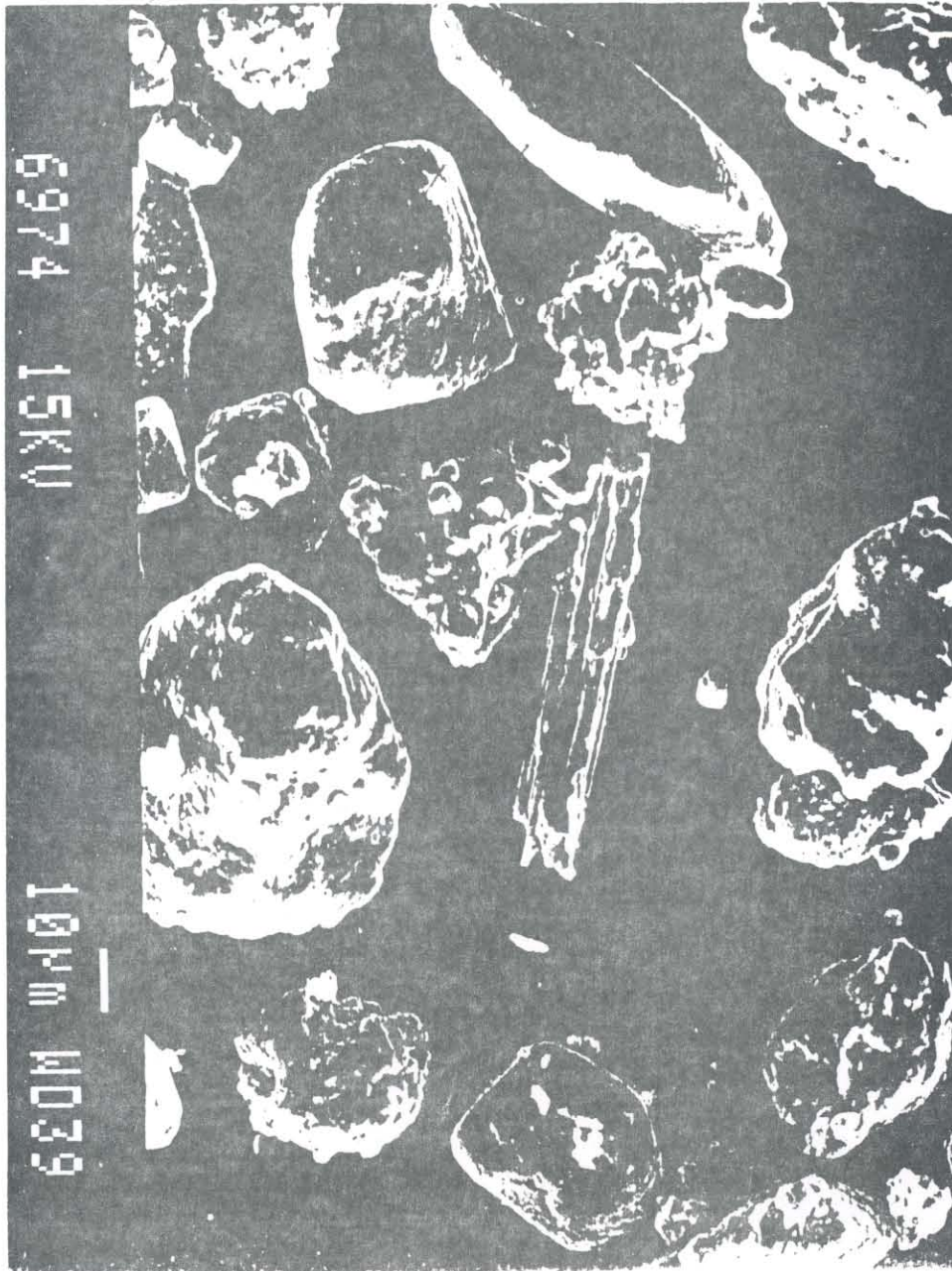
החלקיקים האורגניים הטבעיים היבשתיים הנפוצים הם בעיקר גרגרי אבקה וחלקיקי צמחים בלויים. החלקיקים האורגניים הימים מכילים בעיקר את הפיטופלנקטון ואת הזואופלנקטון. לחלקיקי המדבר צורות מורפולוגיות וגיאומטריות שונות. בדרך כלל הם מזוותים ובעלי כדוריות נמוכה, אחרים מוארכים בעלי צורה מוארכת גלילית המקנה להם ציפה אוירודינמית בכניסתם למערכת הנשימה כפי שניתן לראות בציורים מס. 2 ו- 3.

ציור מס. 2 מראה צורת האבק המינרלי השבור והמזוות.

ציור מס. 1: תמרת אבק מדברי מעל ישראל נע לכיוון קפריסין ודרום טורקיה



ציוור מס. 2: מראה כללי של חלקיקי אויר מדברי



ציור מס. 3 מראה שני חלקיקים מוארכים גליליים עם הרכבם הכימי. (הנחושת Cu הינה החזר המצע עליו נדגמו החלקיקים).

שכיחותם וריכוזיהם של החלקיקים הטבעיים באטמוספירה מותנה בתנאים המטאורולוגיים, במקום ובזמן השוררים בישראל. במזג אויר חורפי, בעת נשיבת רוחות סער מערביות עד דרומיות, מועלים החלקיקים הימיים והמינרליים בעלי התפלגות חלקיקים רחבה וגודל חלקיקים הקטן מ-50 גיקרומטר לאטמוספירה, חלקם נע עם הרוחות על פני שטחה של ישראל וחלקם שוקע בצורה יבשה או נשטף על ידי הגשמים. בחורף, בין פרקי הגשם, במזג אויר קר ויבש עם רוחות מזרחיות, שכיחים אירוסולים מדבריים בעלי התפלגות חלקיקים צרה וגודל הקטן מ-25 מיקרומטר.

בעונת הקיץ, בעת נשיבת בריות הים, שכיחים החלקיקים הימיים וכן אירוסולים סולפטים אשר מקורם באירופה ובים התיכון. (ראה ציור מס. 4)

בעונות המעבר בעת השרבים, כאשר מסות האויר נעות ממדבריות האזור, שכיחים החלקיקים המינרליים.

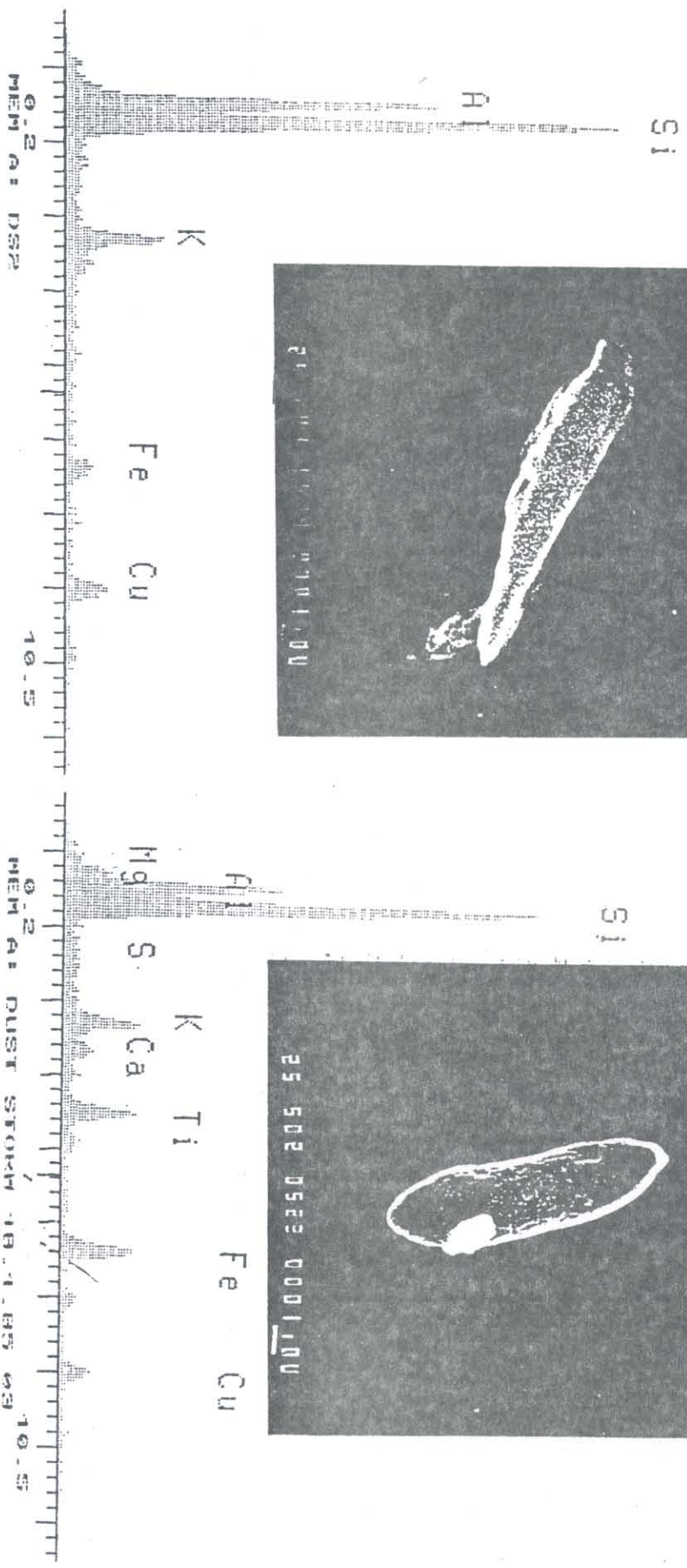
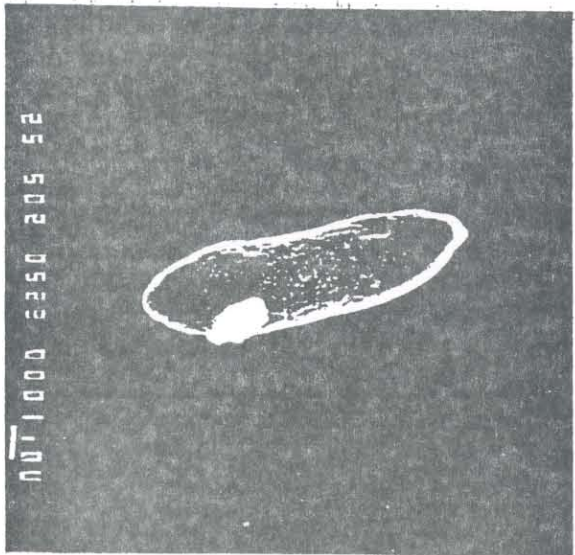
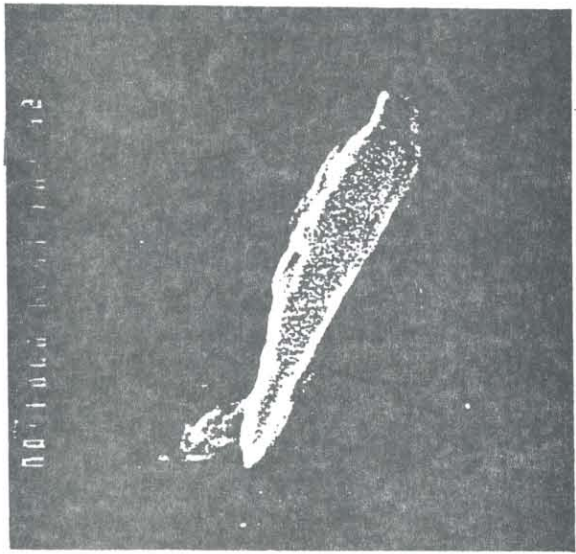
סקרים ומחקרים של אבק מטריד ומזיק באויר הסובב נערכו על ידי משרדי ממשלה, יחידות סביבתיות בערים ובמחוזות וכן על ידי מכוני מחקר ואוניברסיטאות. המידע שהצטבר ב-40 השנים כולל בעיקר מידע מקוטע, על אבק שוקע, אבק מרחף והרכבם המינרלוגי והכימי. המידע על התפלגות גודל החלקיקים והרכבם עדיין חסר. בנוסף, נחקרו בישראל תכונותיהם של אירוסולים בודדים באמצעות טכנולוגיות מתקדמות רק ב-15 השנים האחרונות. להלן יוצגו ממצאים כלליים על טבעם של האירוסולים הטבעיים.

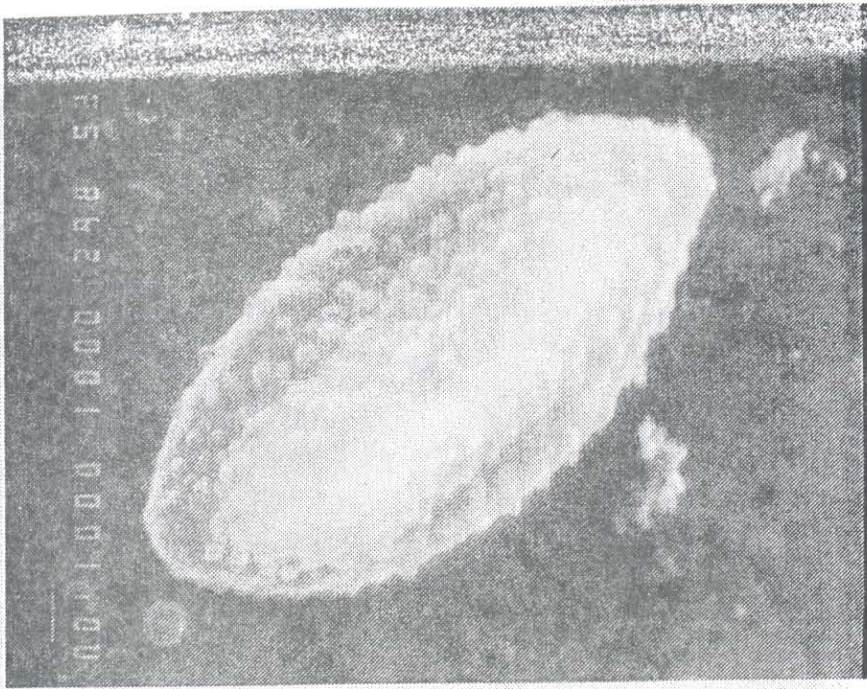
כלל האבק המרחף: האבק המרחף כולל חלקיקים ימיים מינרליים אורגניים וחלקיקי זיהום. לא ניתן להפרידם בדגימות האויר. כלל האבק המרחף נדגם באמצעות משאבות בעלי ספיקת אויר גבוהה כ-1.0 מ"ק לשניה על פני ניר סינון במשך 24 שעות. הריכוזים נמדדים במיקרוגרם למ"ק אויר. ברוב תחנות המדידה בארץ, שכיחים ריכוזים של 60-90 מיקרוגרם למטר מעוקב. ריכוזים שמעל 130 מיקרוגרם למטר מעוקב, אופייניים לתרומה של אבק מדברי וימי בעונות המעבר, וכן גם לתרומה של זיהום. בעת סופות אבק הריכוזים יכולים לעלות על 3000 מיקרוגרם למ"ק. ציור מס. 5 מצביע על התפלגות ריכוזיהם של חלקיקי האבק באשדוד בדגימות אויר שנמשכו 24 שעות. בציור מוצגת שכיחות ריכוזים של 50-70 מיקרוגרם למטר

צילום מס. 3: חלקיקי מוצר מוארנים וגליליים והרכב הכימי (Al) - אלומיניום, Si - סיליקון, K - קליום, Fe - ברזל

9 CNT 5160 EU 20 EU/CHIN
Link Systems 060 final year 6-Feb-85

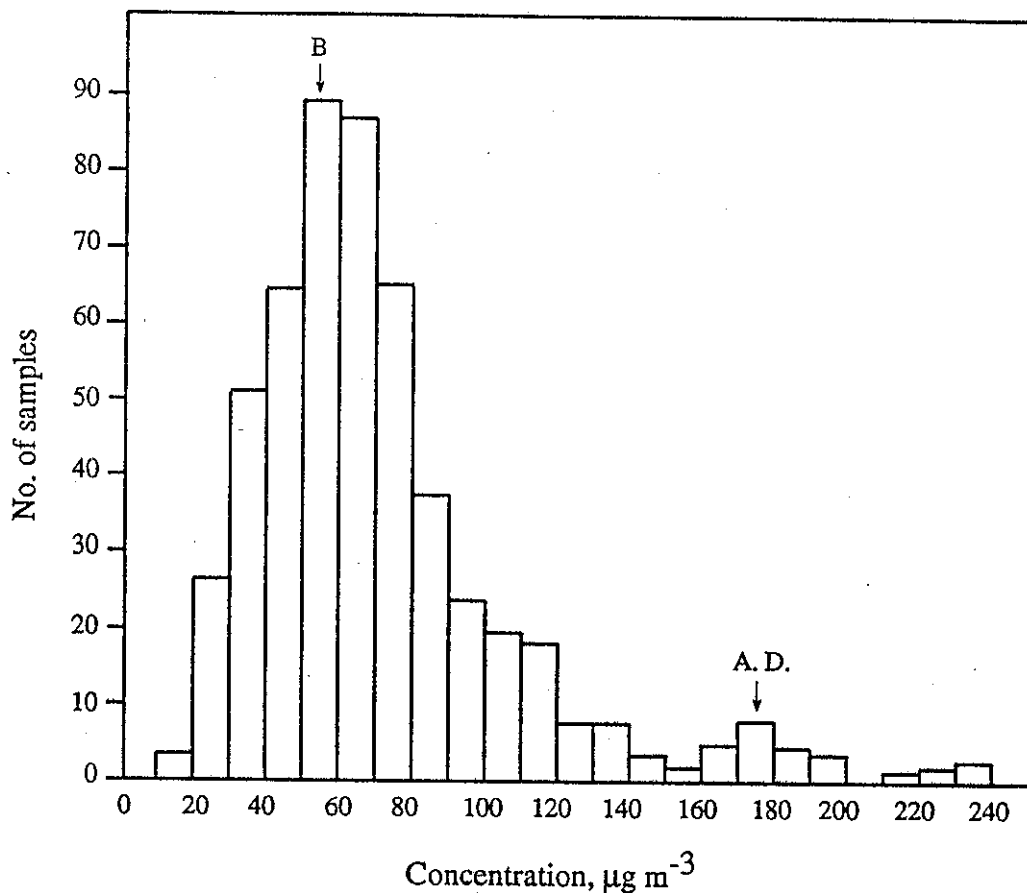
11 CNT 5050 EU 20 EU/CHIN
Link Systems 060 final year 5-Feb-85





צילור מס. 4: חלקיקים אורגניים ימיים אשר נדגמו מעל הים במפרץ חיפה

ציור מס. 5: התפלגות ריכוזי האבק המרחף באשדוד (B - שכיחות אבק הרקע, A.D. - אבק אוליי)



מעוקב אויר בימים חסרי סופות אבק מדברי (סימן באות B). ריכוזים אלה הינם ריכוזי הרקע השכיח, בעוד שבעת סופות אבק עולים הריכוזים, בדרך כלל מעל ל-160 מיקרוגרם למטר מעוקב באשדוד. השכיח 180 מיקרוגרם למטר מעוקב (סומן באותיות A,D) המציין אבק מדברי אוליי.

אבק מרחף ננשם: האבק המרחף הננשם, חלקיקים הקטנים מ-10 מיקרומטר, מהווים כ-40% - 50% מכלל האבק המרחף.

אבק שוקע - האבק השוקע כולל חלקיקים גדולים וקטנים טבעיים ואנתרופוגניים. הוא נדגם באמצעות מלכודות גליליות המכילות מים מזוקקים אחת לחודש בגובה של 2.0 מ' מעל פני הקרקע. שטף האבק השוקע נמדד בטון לקמ"ר בחודש. כמויות האבק השוקע **המינרלי בלבד** נעות בין 200 טון/לקמ"ר בבאר שבע לבין 60 טון לקמ"ר בשנה בנהריה. הכמויות פוחתות מדרום לצפון בשל המרחק מהמדבר, כפי שניתן

לראות בציוור 6. בציוור מוצגת מפת שקיעת אבק בישראל ובסיני. בנגב דרומית לבאר שבע, הכמויות גבוהות מאד - 200 טון לקמ"ר לשנה. כמויות גבוהות אלה מוסברות על ידי התרומה המקומית של קרקעות הלס הפריכות הנסחפות ברוח. הכמויות החודשיות נעות בין 6 ל-8 טון לקמ"ר לחודש, ובחודשי סופות האבק מרץ, אפריל, עולות הכמויות מעל 30 טון לקמ"ר. כפי שניתן לראות בציוור 7, ברוב חודשי השנה הכמויות נמוכות מ-10 טון לקמ"ר לחודש. כמויות אלה מוסברות באבק מקומי ואבק המגיע ממרחקים קצרים שעד 50 ק"מ, בעוד שבחודשי מרץ, אפריל ולעתים מאי, מגיעות כמויות של 30 טון לקמ"ר בחודש ממקורות מרוחקים שמעל 1000 ק"מ ממדבריות מצרים ולוב. תופעה זו חזרה על עצמה בסדרת המדידות שערכנו באזור הכנרת בשנים 1992-1994.

הפרדת האבק השוקע למרכיביו מוצק, נמס ואורגני מלמד על יחסים של 40%, 40% ו-20% בהתאמה מכלל האבק. יחסים אלה משתנים בהתאם למקום הגיאוגרפי.

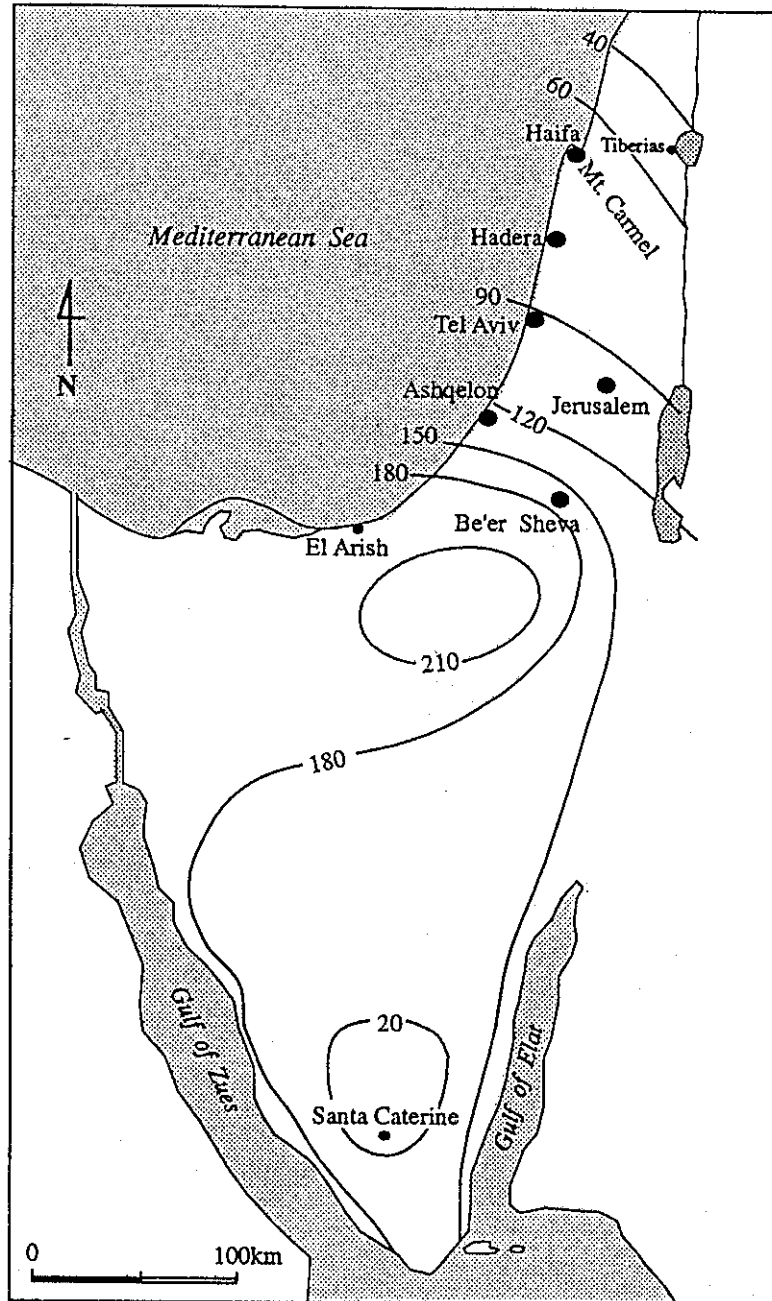
מספר חלקיקים בנפח אויר: מספר החלקיקים והתפלגות גודלם נמדד, לצרכי מחקר בלבד, באמצעות מונה אופטי המונה חלקיקים בתחום של 0.3 עד 20 מיקרומטר במספר מקומות בארץ. התוצאות מלמדות על הריכוזים הבאים: לפני גשם - 750 חלקיקים לסמ"ק, בזמן הגשם - פחות מ-30 חלקיקים לסמ"ק. בעת סופות אבק - 500 עד 1000 ובימי הקיץ 20 עד 300 חלקיקים בסמ"ק.

התפלגות גודל החלקיקים המרחפים בעת סופת אבק בתל אביב בעת רוח דרומית (S) ולאחר שכיון הרוח השתנה לכיון מערבי (W), מלמדת על מציאותם של חלקיקי מדבר שקוטרם נע בין 0.4 ל-18 מיקרומטר והתפלגותם רחבה. בימים חסרי אבק מדברי, ההתפלגות צרה וגודל החלקיקים נע בין 0.3 לבין 2 מיקרומטר - ראה ציוור 8.

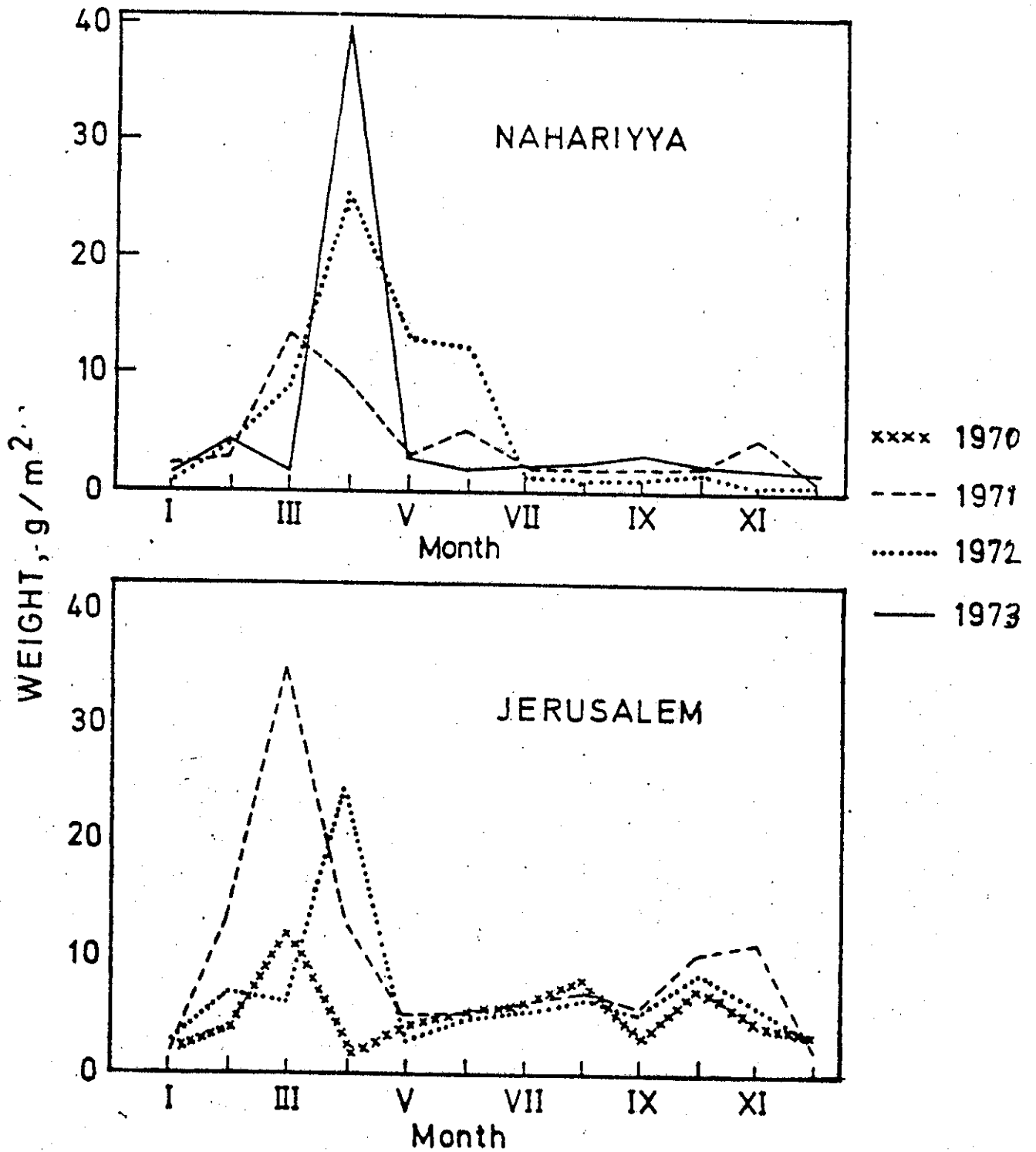
הרכב האבק הטבעי:

- מינרלים: קוורץ 50%, קלציט 20%, דילומיט 18%, פלדספר 6%, מלח 4%, גבס 2%.
מינרלים חרסיתיים: איליט 5-87%, קאוליניט 11-35%, סמקטיט 2-50%.
- הרכב כימי: ההרכב הכימי של אבק שוקע ניתן ביחיסות של מיליגרם לגרם חומר. ההרכב השכיח כדלקמן: K-9, Na-5, P-3, Ti-4, Mg-23, Fe-29, Al-42, Ca-130, Si-180.
- חלקיקים ימיים: בעיקר מלח NaCl, יכול להוות 7% עד 65% מדוגמת האבק המרחף הכללית.

ציור מס. 6: כמות שנתית של אבק שוקע בסיני וישראל בטון לקמ"ר לשנה

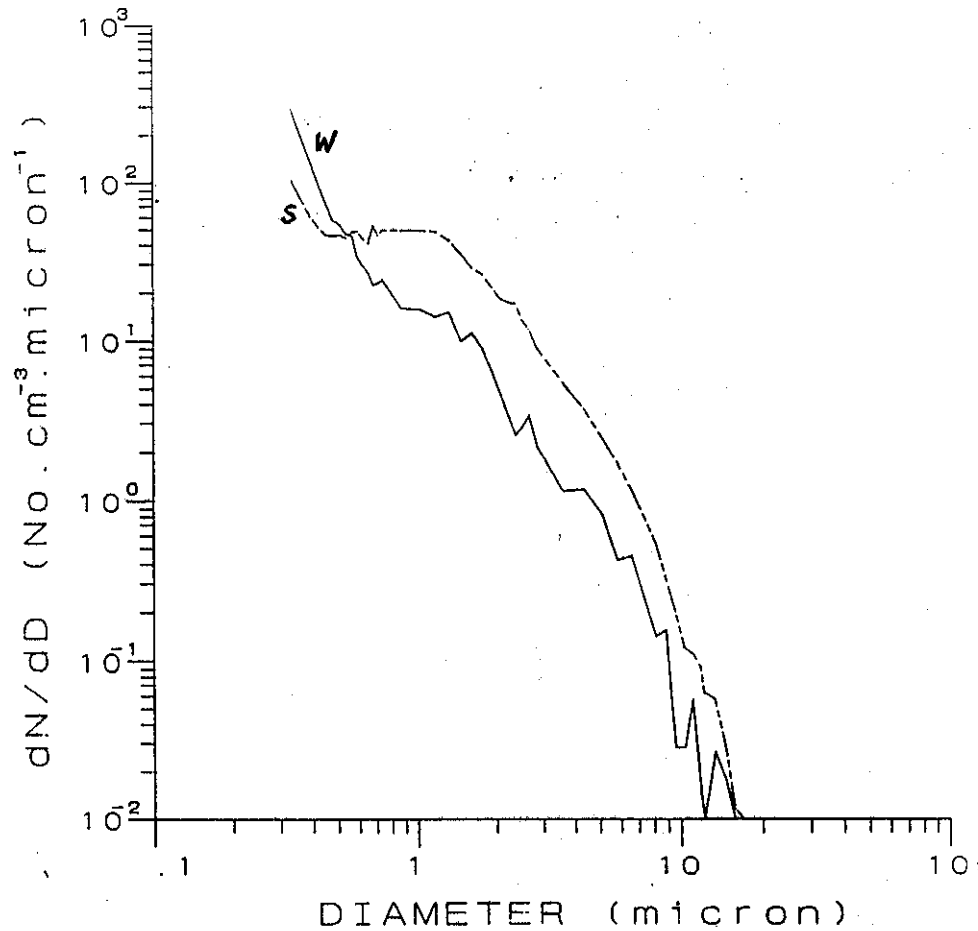


ציור מס. 7: כמויות אבק שוקע חודשית בתחנות נהריה וירושלים בשנים 1970-1973



ציור מס. 8: התפלגות חלקיקי מדבר ברוח דרומית (S) וברוח מערבית (W) שנדגמו בתל אביב

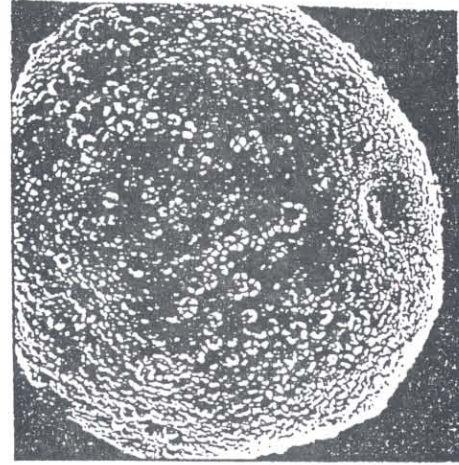
בעת סופת אבק



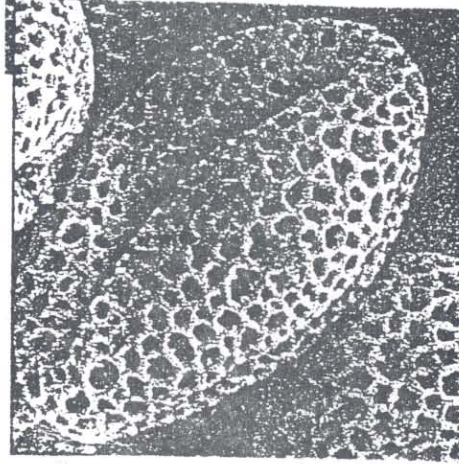
3. חלקיקים אורגניים: מבין החלקיקים האורגניים זוהו גרגרי אבקה של צמחים גורמי אלרגיה כגון: זית, תמר, אלה, ערער, ברוש, פיקן, ואילנות. ריכוזיהם של אלה יכול להגיע לכדי 400 גרגרי אבקה במטר מעוקב אויר, ותכולת הנבגים ל-15,000. החלקיקים האורגניים יכולים להוות 20% ממשקל

הדוגמא. (ציור מס. 9)

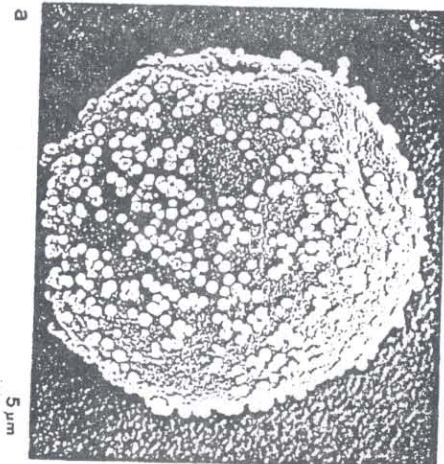
צילום מיקרוסקופי. פ: גרגירי אבק גורמבי אלרגיה של הערער, הפרוש וחזית



פרוש



זרית



ערער

שכיחות סופות האבק

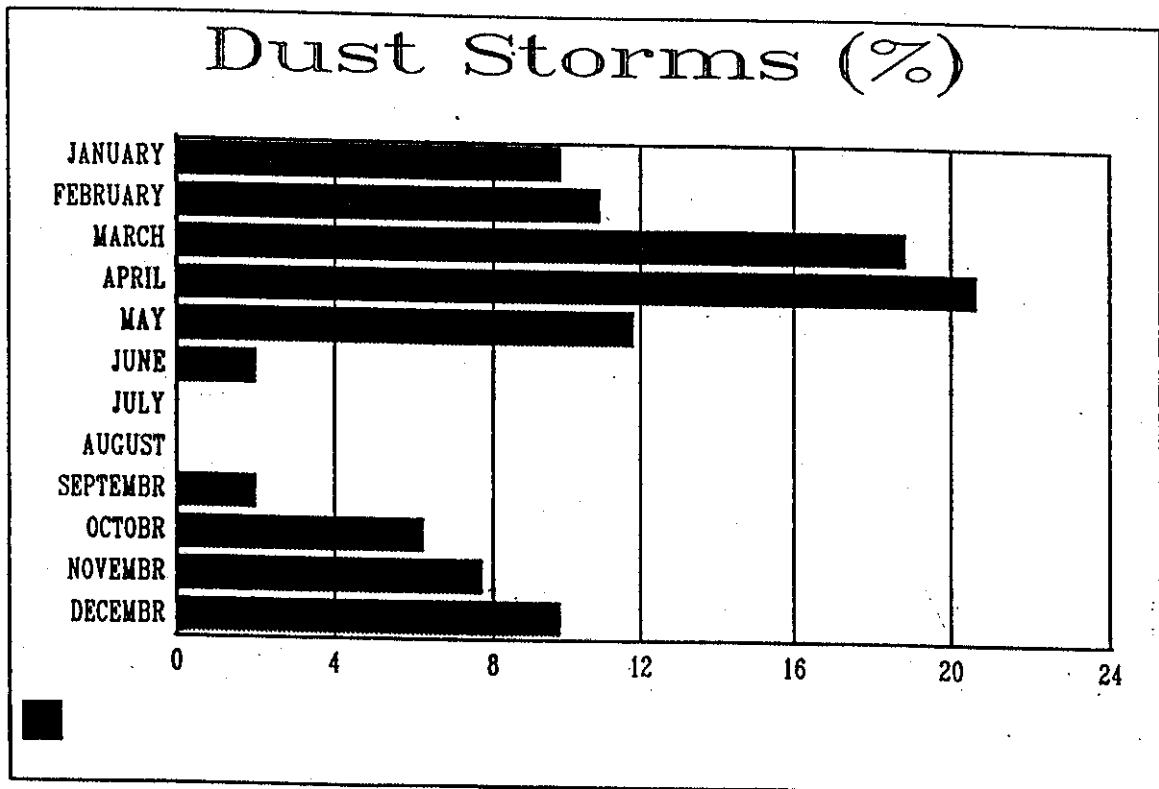
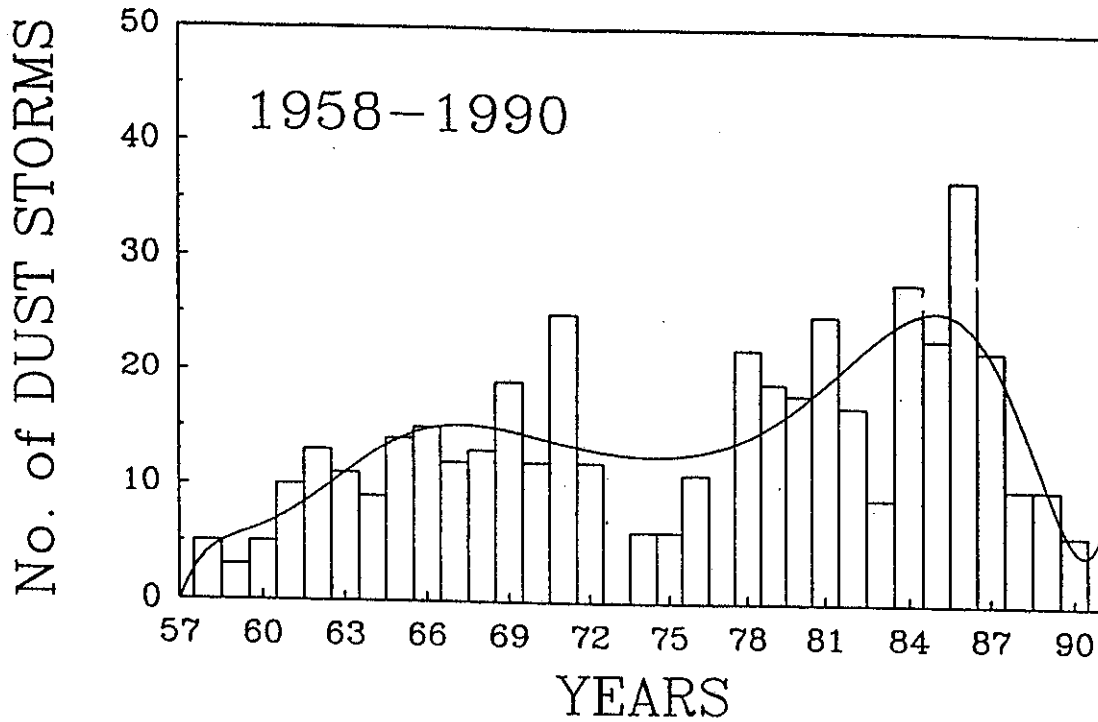
סופות אבק ב-44 שנות התצפית והמדידה משנת 1957 ועד 1990 (ראה ציור 10), מורות על שכיחות משתנה בין 4 סופות בשנה עד 35 לשנה. בממוצע מספר ארועי הסופות בתקופה הנדונה הוא 15. בשנים 1978 עד 1987 נצפו מספר ארועים גבוהים מאשר בשנים קודמות. טרם נבדקו הסיבות לעליה משמעותית זו.

שכיחות סופות האבק לחודשי השנה לתקופה הנדונה מצביעה על שכיחות מירבית 18%-21% בחודשים מרס-אפריל כאשר ביתר החודשים השכיחות נמוכה. ראשית אירועי הסופות חל בסתיו, בחודש ספטמבר, עת חדירת הציקלונים השרביים הראשונים לישראל. שכיחותם עולה בחודשי החורף דצמבר-ינואר-פברואר - 10%, 9%, 11% בהתאמה. באביב בעת שכיחות השרבים (מרץ-אפריל-מאי) השכיחות בשיאה. בחודשי הקיץ לא נצפו סופות אבק. עם זאת יש לציין שבאזורים המדבריים בארץ ובשטחים סחופי רוח ואחרי התריש מתרומם אבק מקומי.

תקני אבק:

	מ"ג/מ"ק	
לשלוש שעות	0.3	חומר חלקיקי מרחף
ל-24 שעות	0.2	
ל-24 שעות	0.15	חומר חלקיקי קטן מ-10 מיקרומטר
	טון/קמ"ר	
לשלושים יום	20.0	אבק שוקע

ציור מס. 10: מספר סופות אבק שהתחוללו בשנים 1990-1958 (ציור עליון)
 שכיחות סופות אבקש בחדשי השנה לתקופה הנדונה באחוזים (ציור תחתון)



- Ganor, E. (1994). "The frequency of Saharan dust episodes over Tel-Aviv", *Israel, Atmos. Envir.* Vol. 28, 17, 2867-2871.
- Ganor, E., (1991). "The composition of clay minerals transported to Israel as indicators of Saharan dust emission", *Atmos. Envir.* Vol. 25A, 12, 2657-2664.
- Ganor, E., Foner, H., Brenner, S. and Avnimelech, Y. (1994). "Amount and fractional composition of the settling aerosols over Lake Kinnereth (The Sea of Galilee): First results for 1993", *Geological Survey of Israel, Current Research* Vol. 9, 4-6.
- Ganor, E., Fober, H., Brenner, S., Ne'eman E. , and Lavi, N. (1991). "Characteristics of settling particles following Saharan dust storms in Israel", *Atmos. Envir.* Vol. 25A, 12, 2665-2670.
- Ganor E., and Foner, H.A. (1989). "Composition of some atmospheric aerosols in Israel", *Env. Quality and Ecosystem*, Vol. IV-A, *Env. Quality*, Jerusalem, Israel, 121-131.
- Ganor, E., Levin Z., and Pardess, D. (1993). "Determining the acidity and chemistry of individual fog, haze and cloud droplets in Israel". *Atmos. Envir.* Vol. 27A, 12, 1821-1832.
- Ganor E., and Mamane Y. (1982) : "Transport of Saharan dust across the eastern Mediterranean", *Atmos. Envir.* Vol. 16, pp. 581-587.

ויזל, י., קינן, ג., גנור, א. ובינר, ש. (1993). "גרגרי אבקה אלרגנים באויר - הזיהום הירוק", *הביוספרה*, ירחון המשדד לאיכות הסביבה, כרך כ"ג, 2-3, נובמבר-דצמבר, ע' 9-13.

אמצעים טכנולוגיים להקטנת פליטת חלקיקים בתעשייה

ד"ר יהודה גולדשמיד

י. גולדשמיד חברה לתכנון והנדסה סביבתית בע"מ

מבוא

אנו מחלקים את מזהמי האויר לשתי קבוצות עיקריות: חלקיקים וגזים. הרצאה זו עוסקת בחלקיקים. המאפיין את החלקיקים בשונה מגזים היא העובדה שיש להם מסה וצורה. המתקנים להרחקת חלקיקים מגזים מתבססים על שתי תכונות אלה כדי להפריד את החלקיקים מזרם האויר.

כאשר מפעילים כוח על חלקיק המשנה את מסלול התנועה שלו, האויר הסובב מתנגד לשנוי. לתופעה זו אנו קוראים גרר. מאחר שהפרדת חלקיקים מגזים מחייבת שנוי מסלול, לכן נתקל תמיד בכוח הגרר במשוואות שבעזרתן מחשבים את יעילות המתקן. כוח הגרר מושפע ממסת החלקיק, ממדיו וצורתו. לכן נקדיש את החלק הראשון של ההרצאה להגדרת קוטר החלקיק.

קוטר חלקיק

בחלקיקים כדוריים הגדרת הקוטר קלה, אולם בטבע כמעט ואין מוציאים חלקיקים כדוריים. אנו מחפשים הגדרה לקוטר שתשרת את מטרותינו, כאשר מדובר בחלקיק שאינו כדורי. ניתן לפתח הגדרות שונות לקוטר. להלן נבחן כמה מהן ונבחר את המתאימה לנו ביותר.

הדרך הפשוטה ביותר להגדרת הקוטר היא לבחון את החלקיק מתחת למיקרוסקופ ולבחור בגודל מסוים כקוטר. לדוגמא, הקו המקשר את הנקודות הרחוקות ביותר. דוגמא אחרת היא להעביר קו אופקי ואנכי במרכז החלקיק ולקחת ממוצע בין השניים ועוד. קוטר שהוגדר בצורה כזו אינו קשור למסת החלקיק וודאי לא לצורתו, לכן אינו מתאים לנו.

דרך נוספת היא למדוד את שטח הפנים של חלקיקים ולחשב את הקוטר מתוך $d_s = \sqrt{\frac{A}{\pi * n}}$ כאשר

A השטח ו-n מספר החלקיקים. גם לקוטר זה קשר קלוש למסה ולצורת החלקיק.

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6 * V}{\pi * n}}$$

בדרך דומה אפשר לחשב את קוטר הנפח עיני מדידת הנפח של מספר חלקיקים ידוע

קוטר זה קרוב יותר למשקל, אולם אין לו קשר לצורה.

דרך חכמה יותר היא לתת לחלקיק שלנו לשקוע באויר, או בנוזל, ליד חלקיק כדורי שצפיפותו 1. כאשר מוצאים חלקיק כדורי הנופל במהירות זהה למהירות החלקיק בו אנו מעוניינים, מחשבים את קוטר

החלקיק שלנו מתוך חוק סטוקס

$$d_{st} = \left(\frac{18\mu_a}{g} \right)^{1/2} \left(\frac{V_t}{\rho_p + c} \right)^{1/2} = K \left(\frac{V_t}{\rho_p c} \right)^{1/2}$$

כאן μ_a היא צמיגות האויר, או הנוזל בתוכם נופלים החלקיקים, g תאוצת הכובד, V_t מהירות נפילה טרמינלית, ρ_p צפיפות החלקיק ו- c מקדם ההחלקה (Slip Coefficient). לקוטר שקבלנו בדרך זו קוראים קוטר סטוקס. קוטר זה מתאים לנו מכיון שמשוואת סטוקס היא מקרה פרטי של כוח הגרר.

כפי שרואים, חילקנו את האגף הימני של המשוואה לשנים: א. חלק שאין לו כל קשר לחלקיק שאותו סמנו בהמשך ב- K . ב. חלק הכולל את תכונות החלקיק במישורין, או בעקיפין (מהירות הנפילה, צפיפות החלקיק ומקדם ההחלקה) שהוא פונקציה של קוטר החלקיק. הגדרה זו עדיין סובלת מהקושי שאיננו יודעים את ρ_p ו- c .

$$d_a = d_{st} \sqrt{\rho_p c} = K V_t^{1/2}$$

לכן נגדיר קוטר המתייחס למהירות הטרמינלית בלבד

הקוטר האחרון מתאים יותר מכיון שהוא נובע ממשוואת הגרר. קוטר זה המכונה הקוטר האירודינמי מצוי במשוואות רבות שבעזרתן מחשבים יעילות ציוד.

את הקוטר האירודינמי מודדים בדרך כלל בעזרת מכשיר הקרוי Cascade Impactor הנותן לנו את פילוג גודל החלקיקים כקוטר אירודינמי לעומת מסת החלקיקים באותה קבוצת קטרים.

פילוג גודל חלקיקים

הניסיון הראה שחלקיקים שמקורם בשבירה, מתפלגים לפי פילוג לוג-נורמלי. כלומר אם נצייר על ציר ה- Y את הלוגריתם של הקוטר ועל ציר ה- X את ההסתברות, נקבל קו ישר. פילוג לוג נורמלי (מספרי, או משקלי) מיוצג ע"י שני פרמטרים: קוטר ממוצע גיאומטרי וסטיית התקן.

הקושי במדידת חלקיקים

הקושי העיקרי בו אנו נתקלים במדידת רכוז ו/או פילוג גודל חלקיקים, נובע מהעובדה שלחלקיקים שטח פנים גדול יחסית למסה ולכן הם מגיבים במהירות (לדוגמא חלקיקי ברזל נוטה להתחמצן בקלות ולתת חלודה) ומהווים גרעיני נוקליאציה בעיקר למים המתעבים מתוך האויר. בעת המדידה המכשירים שלנו אינם מבדילים בין המים, הברזל ותחמוצת הברזל, אולם מכיון שרוב שיטות המדידה בנויות על כך שאנו מייבשים נייר סינון לפני השקילה ושוב מייבשים אחרי המדידה ולפני שקילה שניה, אנו מקבלים תוצאות שאינן מייצגות את הנעשה במציאות.

יש לזכור שמבחינת המתקן המתבסס על מסה להרחקת חלקיק מזרם גז, טיפה וחלקיק הם היינו הך, למרות שמבחינה בריאותית השפעותיהם שונות. האחד נחשב מזהם אויר ואילו השני לא.

קוטר החלקיקים והשפעתו על קלות טיהור גזים

מבלי להכנס לשיטת הסילוק ולבחינת הכוחות הפועלים על החלקיק, ברור כי קל יותר לסלק חלקיקים גדולים וכבדים מזרם האויר וקשה יותר להרחיק חלקיקים קטנים. דבר זה נכון לגבי מתקנים הנעזרים במסת החלקיק כדי להרחיקו מזרם הגז. כאשר מדובר בחלקיקים קטנים מאד (קטנים מעשירית, או מאית מיקרון), החלקיק מתנהג יותר כגז מאשר כחלקיק ואנו נעזרים במנגנון הדיפוזיה כדי להרחיקו מזרם הגז. מקדם הדיפוזיה של חלקיק גדל ככל שקוטרו קטן, לכן אם נתאר בגרף את יעילות ההרחקה לעומת קוטר החלקיק (ראה שרטוט מס. 1), נקבל מינימום באזור המעבר מהאינרציה לדיפוזיה, אזור זה הוא בסביבות 0.1 מיקרון, לכן חלקיקים בגודל זה הם הקשים ביותר בהרחקה מזרם הגז. דבר זה נכון לגבי כל המתקנים אותם נתאר בהמשך.

שרטוט מס. 1: יעילות הרחקת חלקיקים מגז לעומת קוטר אירודינמי של החלקיק - מקרה פרטי

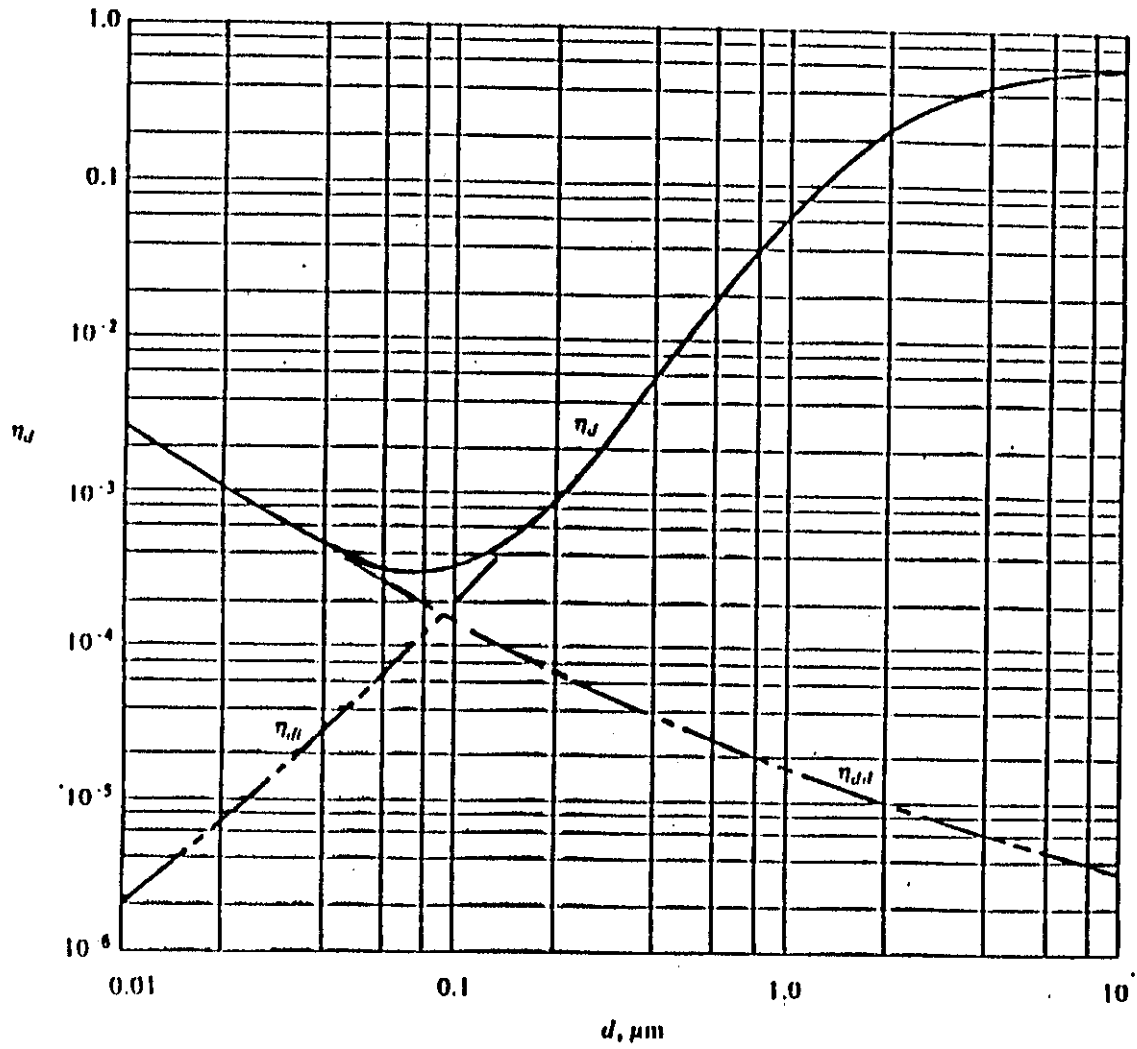


FIGURE 9-10
Efficiency curves for Example 9-3.

מתקנים להפרדת חלקיקים מגז

בשוק נתן למצוא מספר רב של מתקנים להפרדת חלקיקים מזרם גז. אנו נקבץ אותם לארבע קבוצות, ונתאר בהמשך כל אחת מהקבוצות על יתרונותיה וחסרונותיה. הקבוצות הן:

1. מתקנים מכניים - צקלונים, מולטיציקלונים, תאי שקוע, מפרידי טיפות וכדי.
2. מסננים - מתנקים מעצמם והדורשים ניקוי תקופתי.
3. משקעים אלקטרוסטטיים.
4. קולטנים (Scrubbers).

1. מתקנים מכניים

מתקנים אלה מנצלים את המשקל והאינרציה של החלקיק.

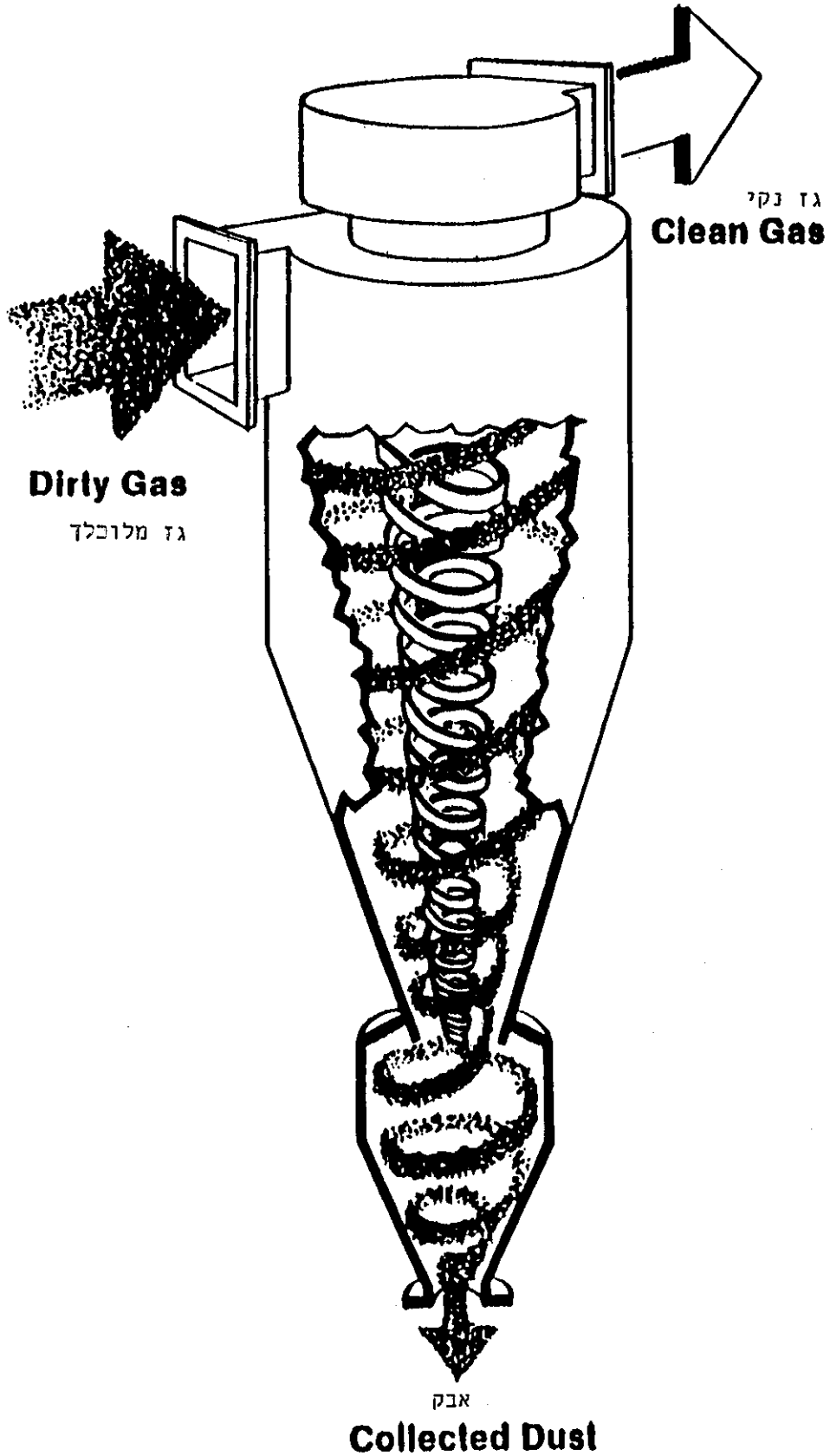
בתא שיקוע לדוגמא מגדילים את חתך הזרימה וכתוצאה מכך מקטינים את המהירות ומאפשרים לחלקיק לשקוע. יעילות תאים אלה נמוכה וכיום כמעט ואין משתמשים בהם.

צקלון (ראה שרטוט מס. 2) - בצקלון הגז נכנס במשיק לחלק הגלילי והכוח הצנטריפוגלי זורק את החלקיקים לדופן. זרם גז יורד, נושא את החלקיקים אל פתח היציאה והם נאספים במיכל שבתחתית הציקלון.

צקלונים יעילים משיגים יעילות גבוהה לחלקיקים בקוטר ארודינמי של 10-15 מיקרון (היחידות הן מיקרון (גרם/סמ"ק)^{1/2} אולם לשם פשטות נציין רק את המיקרון). מפל הלחץ עליהם 100-150 מ"מ מים, הם פשוטים, זולים לבניה ולהפעלה ואחזקתם פשוטה. חסרונם העיקרי הוא שברוב המקרים הם אינם עומדים בדרישות רכוזי הפליטה אותם דורשות היום הרשויות. ציקלונים מוצאים שמוש רב כקדם מנקים, אלא בדרך כלל אינם עונים לדרישות התקן.

מולטיציקלון - הציקלון מאבד מיעילותו ככל שהקוטר שלו גדל, לכן מחליפים ציקלון אחד גדול במספר רב של ציקלונים קטנים. למתקן זה קוראים מולטיציקלון. בצורה זו ניתן להשיג יעילות גבוהה לחלקיקים בקוטר ארודינמי של 8-10 מיקרון. המתקנים יקרים יותר מציקלונים, מפל הלחץ זהה ויש להיות בטוחים שרוכשים אותם מחברה אמינה. זאת מכיון שבמולטיציקלון חשובה מאד חלוקת הגז בין הצקלונים השונים. חלוקה לא נכונה עלולה לגרום לגז לצאת מציקלון אחד ולהכנס לשני, דבר שיפגע קשות ביעילותו.

שרטוט מס. 2: צקלון



2. מסננים

מתחלקים לשתי קבוצות עיקריות: מסננים המתנקים מעצמם במהלך העבודה ומסננים שיש להורידם ולנקות אותם מפעם לפעם. את האחרונים מוצאים לדוגמא במזגני אויר, בחדרים נקיים, במנדפים וכד'. אין משתמשים בהם כאשר עומס האבק גבוה מכ- 10 מ"ג/מ"ק. יש מסננים פחות ויותר יעילים. מוכרים המסננים בחדרים נקיים המגיעים ליעילות של 99.9999% לחלקיקים בקוטר 0.3 מיקרון. יתרונם בעלות נמוכה יחסית (לפשוטים), היעילים יקרים. מפל הלחץ עליהם נמוך בדרך כלל ומחליפים, או מנקים אותם כשמפל הלחץ עולה.

מסננים המתנקים בעצמם מתחלקים לקבוצות לפי שיטת הניקוי. שלוש שיטות הניקוי העיקריות הן:

1. ניעור - מפסיקים פעולת תא אחד בתוך המסנן, מנערים אותו היטב ולאחר שהאבק שקע מחזירים אותו לעבודה.

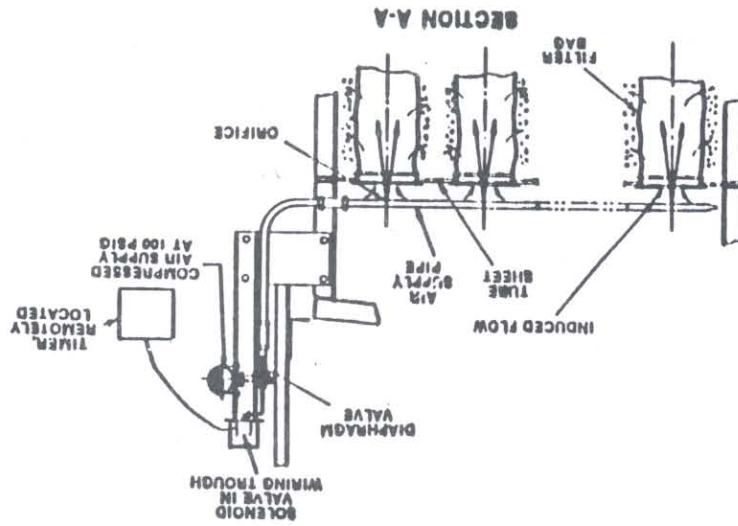
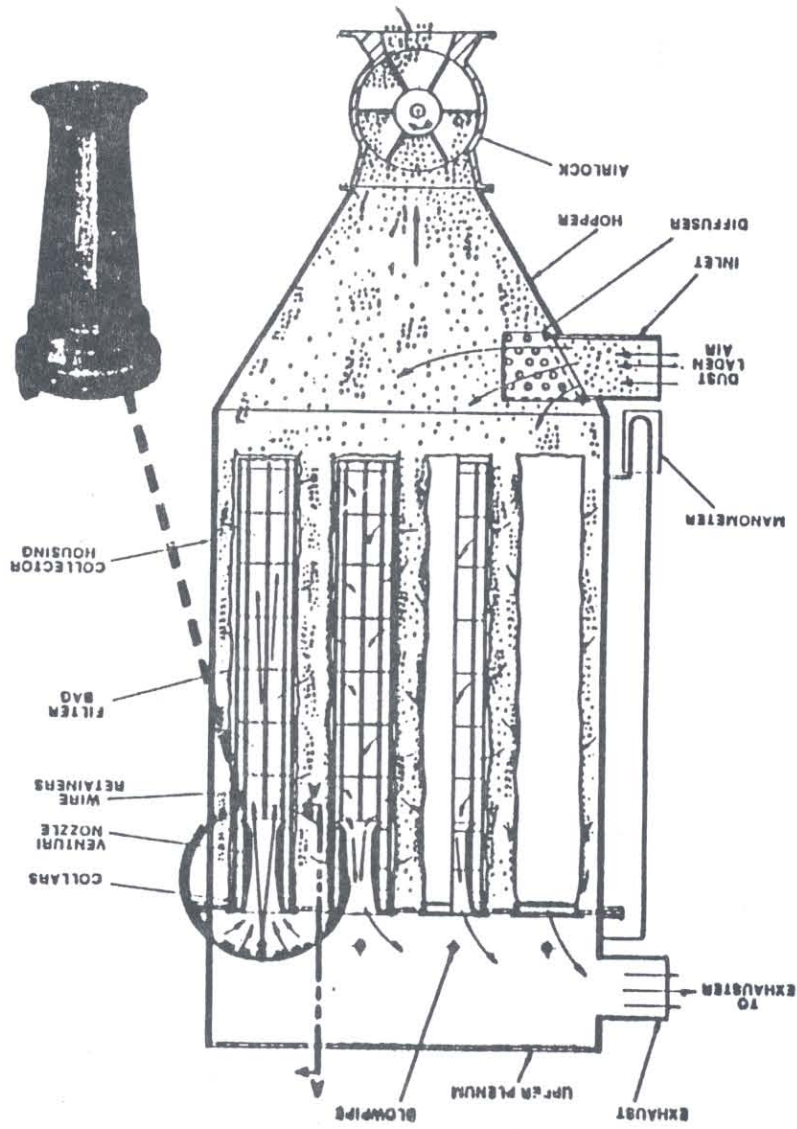
2. זרימת אויר הפוכה - מוציאים תא אחד מעבודה ומזרימים דרכו אויר בזרם נגדי לכוון זרימת האויר המסונן. לאחר ניקוי שקי הסנון, התא מוחזר לעבודה.

3. Pulse Jet - מסנן כזה מוצג בשרטוט מס. 3. תוך כדי עבודה מזרימים אויר בלחץ ומהירות גבוהים לתוך השרוול לזמן קצר. בועת האויר גורמת ליצירת גלים בשרוול, המפילים את האבק שהסתנן.

יתרונו העיקרי של המסנן ביעילותו הגבוהה. בדרך כלל הרכוז ביציאה 20-30 מ"ג/מ"ק והם מקובלים היום כסוס העבודה העיקרי של התעשייה, כל אחד בתחומו. הם יקרים מהמתקנים המכניים ומסובכים מהם. מסננים מחייבים בקורת שוטפת ותחזוקה מסודרת, מאחר ששקים נקרעים מפעם לפעם. מפל הלחץ הדרוש לעבודתם הוא 100-150 מ"מ מים.

שני חסרונותיהם העיקריים הם: 1. מסנן אינו יכול לפעול בלחות גבוהה מכיון שנוצר בוץ על שק הסינון ולא ניתן לנקות אותו יותר. 2. לשקי הסינון יש גבול טמפרטורה עליון שמעליו הם נדלקים, או נתכים. גבול זה הוא כ- 330°C. (לבדים העשויים סיבי זכוכית).

שרטוט מס. 3: מסנן עם ניקוי אוטומטי מטיפוס Pulse Jet



קיימים מסננים שתוכננו במיוחד לטמפרטורות גבוהות. נזכיר כאן שתי קבוצות: א. מסנני חצץ (Gravel bed filters). ב. שרולי סינון מאלומינה.

3. משקעים אלקטרוסטטיים

משקע אלקטרוסטטי בנוי משתי קבוצות של אלקטרודות, הקבוצה הראשונה היא אלקטרודות מיננות והשנייה אלקטרודות מאספות. האלקטרודות המיננות טעונות במתח של מספר עשרות קילו וולטים ויש להם קצוות חדים. כתוצאה מכך מתרחשת התפרקות חשמלית (Corona discharge) היוצרת מספר רב של יונים חיוביים ואלקטרונים. האלקטרונים נמשכים לאלקטרודה ואילו היונים החיוביים טוענים את החלקיקים. החלקיקים הטעונים נכנסים לשדה החשמלי של האלקטרודות המאספות, נמשכים אליהן, מוסרים את מטענם לאלקטרודה ונדבקים אליה. פטישים מכים מפעם לפעם את האלקטרודה ומפילים את האבק שנאסף. האבק מצטבר במשפך ומסולק מהמשקע. משקעים משמשים בד"כ לטיהור גזים בספיקות גבוהות. מכיון שהמהירות במשקע נמוכה המשקעים הם מתקנים גדולים. כמות האנרגיה הדרושה לפעולתם דומה לזו הדרושה להפעלת מסננים. ניתן להשיג בהם יעילות גבוהה. הדבר מחייב הגדלת מספר השדות (בטור אחד אחרי השני). ניתן ללא קושי להגיע לרכוז של 20-50 מ"ג/מקט"י ביציאתה. כאשר עומס האבק בכניסה רב, מעבירים את האויר קודם דרך צקלון ואח"כ דרך משקע.

למשקעים האלקטרוסטטיים תחומי פעולה מוגדרים והם:

1. החלקיקים חייבים להיות בעלי התנגדות סגולית הנמצאת בתחום שבין 10^{10} - 10^7 אוהם-ס"מ. כאשר ההתנגדות נמוכה מ- 10^7 אוהם-ס"מ, כלומר החלקיק מוליך, אזי הוא אינו נדבק היטב לאלקטרודה האוספת, אלא מוסר את מטענו וחוזר לזרם הגז. כאשר ההתנגדות גבוהה מ- 10^{10} , החלקיקים יוצרים שכבת התנגדות על האלקטרודה וגורמים להתפרקות חשמליות (תופעה הנקראת Back Corona) הגורמות לירידת יעילות המשקע.
 2. לא ניתן להזין למשקע גז פציץ, מכיון שההתפרקות החשמליות עלולות לגרום לפצוץ המשקע.
 3. למשקעים גבול טמפרטורה עליון של כ- $300 - 400^{\circ}\text{C}$.
 4. אסור להזרים למשקע רגיל גזים קורוזיביים.
- מגבלות אלה מביאות לכך שניתן למצוא משקעים אלקטרוסטטיים במספר מוגבל של תעשיות.

4. קולטנים

קולטן (Scrubber) הוא כל מתקן המשתמש בנוזל לטיהור גז. ניתן להשתמש בקולטן להרחקת חלקיקים, או להרחקת גז. התכונות הנדרשות מהקולטן בשני המקרים שונות. לספיגת גז דרוש שטח מגע גדול וזמן שהיה ארוך, לכך משמשים עמודים ממולאים - אלה יסתמו מיד אם ישמשו לקליטת חלקיקים.

קליטת חלקיקים מחייב שטח פתוח ומהירות גבוהה. דוגמא לכך הוא האג'קטור ונטורי המוצג בשרטוט מס. 4. אסוף החלקיקים ע"י טיפות הנוזל נובע מהפרש המהירויות הגבוה בין שניהם. ברגע שחלקיק נאסף ע"י טיפת מים, לפנינו חלקיק גדול שקל להרחיקו מזרם הגז בצקלון - לדוגמא.

לונטורי מפל לחץ גבוה, העולה ככל שהחלקיקים הנתפסים קטנים יותר. התוצאה מכך היא השקעת אנרגיה גבוהה.

הפרמטרים הקובעים את יעילות הקולטן הם:

- א. המהירות היחסית, המתורגמת למפל לחץ.
- ב. כמות הנוזל - אם טיפות הנוזל אינן מכסות את כל החתך, אזי היעילות יורדת.
- ג. הרטבת החלקיקים ע"י הנוזל. חלקיקים שאינם נרטבים יתפסו ביעילות נמוכה.

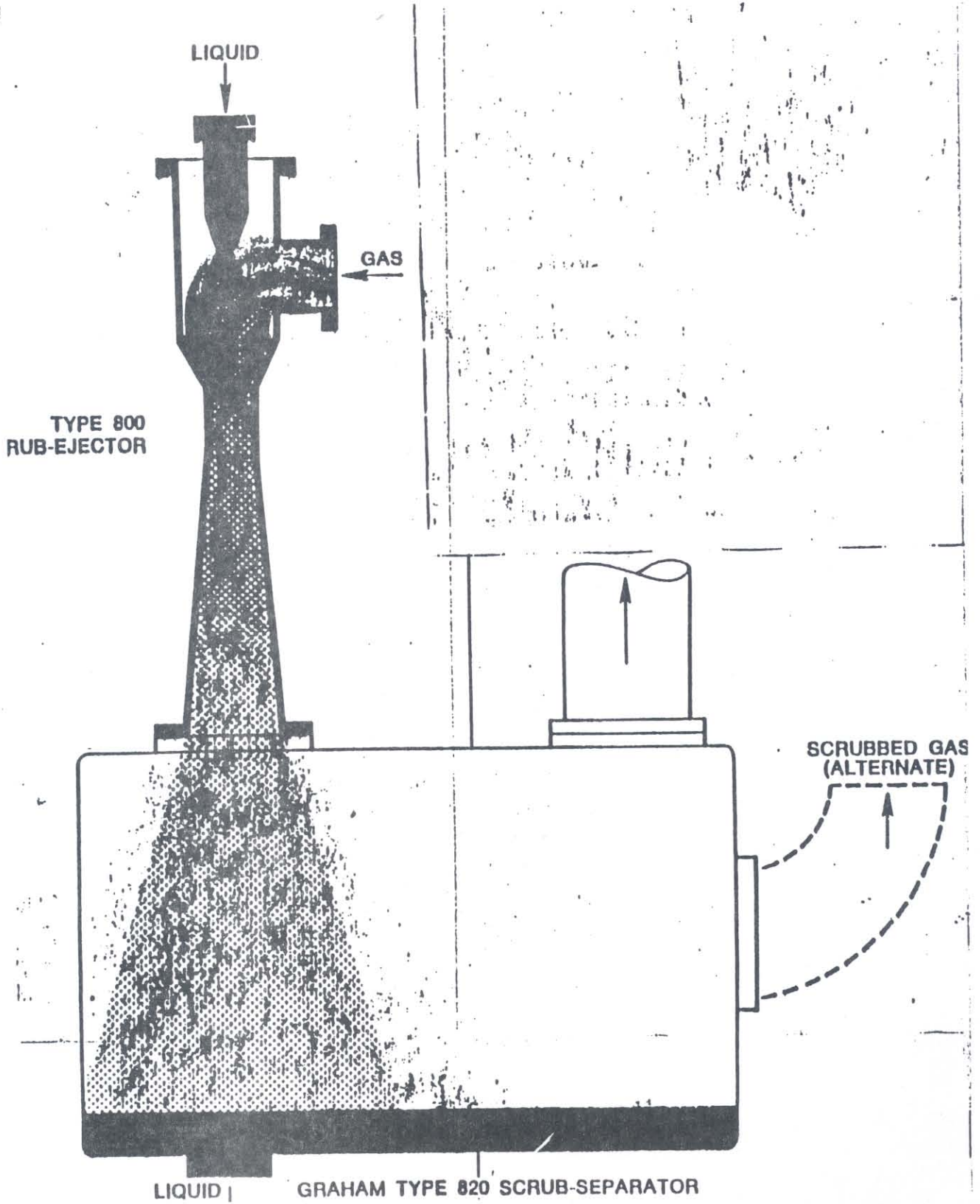
היתרונות: המתקן זול בהתקנה. ניתן להגדיל את יעילותו לפי הצורך ע"י הגדלת המהירות. הוא פשוט בפעולה ונוח בתחזוקה וניתן להגיע בעזרתו ליעילות גבוהה.

החסרונות: מפל לחץ גבוה המחייב בתשלום עבור האנרגיה. מחייב התקנת מתקן טיהור לשפכים המתקבלים מהקולטן לאחר הרטבה קשה בד"כ להחזיר את החלקיקים לתהליך.

סיכום

- יש בידינו ציוד מגוון המאפשר רמות שונות של יעילות בטיהור גזים מחלקיקים.
- רוב הציוד מוגבל לטמפרטורה של עד כ- 350°C, אולם קיים ציוד לטמפי גבוהות יותר.
- רוב הציוד הנמצא היום בשוק והמקובל על הרשויות, מסוגל להוריד את רכוז האבק באויר הנפלט ל- 20-30 מ"ג/מקת"י.

שרטוט מס. 4: סקרבר מטיפוס אג'קטור ונטור



- ככל שנדרשת יעילות גבוהה יותר בהרחקת החלקיקים, ההשקעה הכספית הנדרשת גבוהה יותר, התחזוקה אינטנסיבית יותר ובמקרים רבים גם השקעת אנרגיה רבה יותר.

- לכל אחת מקבוצות המתקנים מגבלות משלה ויש לשקול היטב ולהתאים את הציוד לשימוש לו הוא מתוכנן.

תקני סביבה בארץ ובעולם לחומר חלקיקי באוויר

ד"ר מיכאל גרבר, מנהל האגף לאיכות אוויר,

המשרד לאיכות הסביבה

ת ק צ י ר

תקני סביבה לאיכות אוויר נקבעו לראשונה בארצות הברית בהמשך לתיקון של שנת 1970 לפקודת איכות האוויר (Amendment t the Air Quality Act of 1970). במסגרת חקיקה זו נדרשה הסוכנות הפדרלית לשימור הסביבה (USEPA) שהוקמה באותה עת, לפרסם תקני איכות אוויר המבטאים את הריכוזים המירביים המותרים של מזהמים באוויר. חקיקה זו דרשה גם כי תקני איכות אוויר אלה ילוו במסמכי קריטריונים המכילים סיכום של המידע הסביבתי והבריאותי הקיים לגבי הנזקים והתוצאים (effects) השליליים, עליהם התבססו בעת קביעת תקני איכות אוויר אלה. בין יתר המזהמים לגביהם פורסם אז תקן איכות אוויר ומסמך קריטריונים, הוא המזהם "כלל חומר חלקיקי" (Total Suspended Particulates - TSP). במדינת ישראל התפרסו תקני איכות אוויר בכלל ותקן ל-TSP בפרט, במסגרת החוק למניעת מפגעים (חוק כנוביץ') עוד בשנת 1971.

מאז שנות ה-70 חלו בעולם התפתחויות חשובות בנושא קביעת תקני הסביבה לחומר חלקיקי באוויר. הוכרה העובדה שעיקר הנזק הבריאותי נגרם על ידי החלקיקים שהם קטנים דיים לחדור לעומק הריאות (חלקיקים שגודלם פחות מ-10 מיקרומטר). בעקבות כך הוחלף תקן הסביבה בארה"ב ב-1987 בתקן סביבה לחומר חלקיקי ננשם (הידוע כ-PM10 - Particulate Matter Smaller than 10 Micrometer). תקן הסביבה שנקבע בארה"ב ל-PM10 הוא 150 מיקרוגרם למטר מעוקב למדידה ימתית, ובקליפורניה, המחמירה הרבה יותר בתקנים הסביבתיים שלה, 50 מיקרוגרם למטר מעוקב.

ארגון הבריאות העולמי (WHO) בהנחיותיו משנת 1987 אינו מתיחס לתקן סביבה לחומר חלקיקי (TSP או PM10), אם כי הוא פרסם הנחיות מפורשות לגבי התכולה בחומר החלקיקי של המתכות הבאות: ארסן, ואנאדיום, כספית, כרום, מנגן, ניקל, עופרת וקדמיום. הקהילה האירופית בבריטל פרסמה דירקטיבה שבה משולב תקן הסביבה לחומר חלקיקי עם תקן סביבה לגופרית דו-חמצנית.

בישראל, בעת העדכון של שנת 1992 של תקני איכות האוויר, התווספו בצד תקני הסביבה ל-TSP גם תקני סביבה ל-PM10, שרמתם כרמות תקני הסביבה הפדרליים של ארה"ב, וכן תקני סביבה לעופרת, ואנאדיום, קדמיום סולפאטים ופוספאטים. מומלץ לבצע בדיקה מחודשת של תקני הסביבה לחומר חלקיקי באוויר הנמצאים בתוקף בישראל.

1. מבוא

תקן הסביבה הראשון לחומר חלקיקי (Particulate Matter = PM) באוויר בישראל התפרסם ב-1971 במסגרת התקנות למניעת מפגעים - איכות אוויר, והתייחס למדד ההשחרה (מ"י, 1971). זמן קצר לאחר מכן נוספו בתקנות אלה תקני סביבה לחומר חלקיקי המתייחסים לריכוזו באוויר באמצעות מדידה גרבימטרית במכשיר HiVol (מ"י, 1972).

מיד לאחר ההחלטות בממשלה ובכנסת ב-1982 להעביר את החוק למניעת מפגעים לאחיותו הבלעדית של שר הפנים, מינה מנהל השרות לשמירת איכות הסביבה במשרד הפנים וועדת מומחים בין-תחומית במטרה שתבדוק את תקני הסביבה למוזהמי אוויר המצויים בתוקף בישראל ותציע, במידת הצורך, שינויים ועדכוני בהם. ב-1984 פירסמה הוועדה טיוטת מסמך הכולל חומר רקע והצעה לתקן סביבה מעודכן לחומר חלקיקי באוויר (ששא"ס, 1984). במסמך זה המליצה הוועדה לאמץ את הצעת תקן הסביבה לחומר חלקיקי בו תמכה הסוכנות הפדרלית לשימור הסביבה בארצות הברית (USEPA), ובפרט, להוסיף לתקן הסביבה שהתייחס לכלל החומר החלקיקי באוויר (TSP) גם תקן המתייחס למיקטע החומר החלקיקי הננשם (PM10). כמו כן המליצה הוועדה לכלול בתקני הסביבה גם תקן לחומר חלקיקי שוקע.

ב-1992, התפרסם נוסח חדש לתקנות למניעת מפגעים - איכות אוויר (מ"י, 1992), המהווה עידכון, שינוי ותוספת לתקני הסביבה למוזהמי אוויר שהתפרסמו ב-1971, ובפרט, התפרסמו תקנים חדשים לחומר חלקיקי באוויר. בתקנות החדשות נשמרו תקני הסביבה לחומר חלקיקי באוויר שפורסמו בתיקון משנת 1972 והוספו תקן סביבה 3-שעתי ל-TSP, תקני סביבה יממתי ושנתי ל-PM10 (המכונה בגרסה זו בשם "חומר חלקיקי עדין") וכן תקן חודשי לחומר חלקיקי שוקע. בנוסף, נכללו בעדכון התקנות של 1992 תקני סביבה למוזהמים ספציפיים בחומר החלקיקי: וואנאדיום, קאדמיום, סולפאטים ופוספאטים, זאת בצד תקן הסביבה לעופרת שהתפרסם עוד ב-1971. לעומת זאת, תקן הסביבה המתייחס למדד השחרה הושמט.

2. חומר חלקיקי באוויר

חומר חלקיקי הוא שם כולל הניתן לקבוצה גדולה של חומרים הנבדלים זה מזה בהרכבם הכימי ומהותם הפיסיקלית, המתקיימים באוויר בצורת חלקיקים דיסקרטיים (טיפיות נוזל או בצורת חומר מוצק), שגודלם משתנה בתחום רחב מגודל הקטן בהרבה ממיקרומטר ($10^6 \text{ u} = \text{מטר}$) ועד כ-45 מיקרומטרים.

מחקרים לגבי הרכבם הכימי של החומר החלקיקי באוויר מראים כי החלקיקים שגודלם קטן מ-10 מיקרומטר מורכבים בעיקר ממלחי סולפאטים, בתוספת מלחי ניטראטים ואמוניום, ותוצרים אורגניים פוטוכימיים. החלקיקים הגדולים יותר (10 מיקרומטר ויותר) מורכבים בעיקר מסיליקה, קלציום קרבונט, חרסיות וחלקיקי פיח (USEPA, 1994).

כל המחקרים שהתפרסמו עד כה, נוטים להראות כי התוצאים (אפקטים) הבריאותיים השליליים המיוחסים לחומר החלקיקי באוויר, נגרמים בעיקר על ידי מזהמי האוויר הרעילים, הנספחים אל החלקיקים הקטנים יותר ומוחדרים על ידם לעומק מערכת הנשימה והריאות. החלקיקים הגדולים יחסית שאינם מצליחים לחדור לעומק מערכת הנשימה כתוצאה מפעולת הסינון בחלל האף והפה, הנזק הבריאותי שהם גורמים הוא זניח. מכאן החשיבות שיש לאפיון החומר החלקיקי הן לגבי גודל חלקיקיו ולגבי הרכבו הכימי. מבחינה זו, שונה החומר החלקיקי מיתר מזהמי האוויר המופיעים באוויר במצב צבירה גאזי, שהרכבם הכימי מוגדר היטב ופרמטר הגודל אינו רלבנטי לגביהם.

יש להדגיש כי אין הסכמה בעולם כיצד להכליל בתקן הסביבה לחומר חלקיקי את הנושא המסובך של הרכבו הכימי. במרבית תקני הסביבה לחומר חלקיקי שהתפרסמו בעולם, מתייחסים רק לגודלם של החלקיקים, כאשר ההתייחסות להרכבן הכימי של התרכובות הכלולות בחלקיקים היא באמצעות תקני סביבה נפרדים וספציפיים. גישה זו אומצה בתקני הסביבה הישראליים (התקנים הספציפיים הם כאמור לעופרת, וואנאדיום, קאדמיום, סולפאטים ופוספאטים), ובסופו של דבר גם בתקני הסביבה הנפרדים לחומר חלקיקי באוויר שפירסם ה-USEPA ב-1987 (FR, 1987).

יחד עם זאת, יש להדגיש כי קיימת גישה אחרת לפיה מפרסמים תקן סביבה משולב למזהמי אוויר הפועלים את השפעתם המזיקה באופן סינרגיסטי. גישה זו נבדקה לגבי החומר החלקיקי ותחמוצות הגופרית (SOx) ב-1979 על ידי ה-USEPA (FR, 1979) ולא התקבלה (FR, 1986), אך אומצה על ידי הקהילה האירופאית (EEC, 1980; 1989). יש להדגיש כי לגבי העופרת, פירסמה הקהילה האירופאית תקן סביבה נפרד (EEC, 1982).

יש לציין כי ארגון הבריאות העולמי (WHO) בהנחיותיו לקביעת תקני סביבה למזהמי אוויר (WHO, 1987) אינו מתייחס לתקן סביבה לחומר חלקיקי (TSP או PM10), אם כי הוא פירסם הנחיות ספציפיות לגבי התכולה בחומר החלקיקי של המתכות הבאות: וואנאדיום, כספית, כרום, מנגן, ניקל, עופרת וקדמיום.

באשר לפרמטר הגודל של החלקיקים, נהוג לחלק את החומר החלקיקי ל-4 סוגים:

א. **חומר חלקיקי שוקע:** הכוונה לחלקיקים שגודלם מעל 45 מיקרומטר, אשר כוחות הדיפוזיה המולקולרית והטורבולנטית של האטמוספירה אינם מצליחים למנוע את שקיעתם לקרקע.

ב. **כלל חומר חלקיקי מרחף:** (Total Suspended Particulates = TSP): הכוונה למיקטע הגדלים של החלקיקים הנשאר מרחף באוויר תודות לפעילות הפיזור של האטמוספירה, שגודלם קטן מ-45 מיקרומטר.

ג. **חומר חלקיקי ננשם** (Respirable PM או PM10): מיקטע זה כולל את כל החלקיקים שגודלם פחות מ-10 מיקרומטר.

ד. **חומר חלקיקי עדין** (Fine PM או PM2.5): מיקטע זה כולל את כל החלקיקים שגודלם פחות מ-2.5 מיקרומטר (יש לשים לב כי בתקני הסביבה הישראלים מ"י, 1992 - הוגדר דווקא ה-PM10 כחומר חלקיקי עדין).

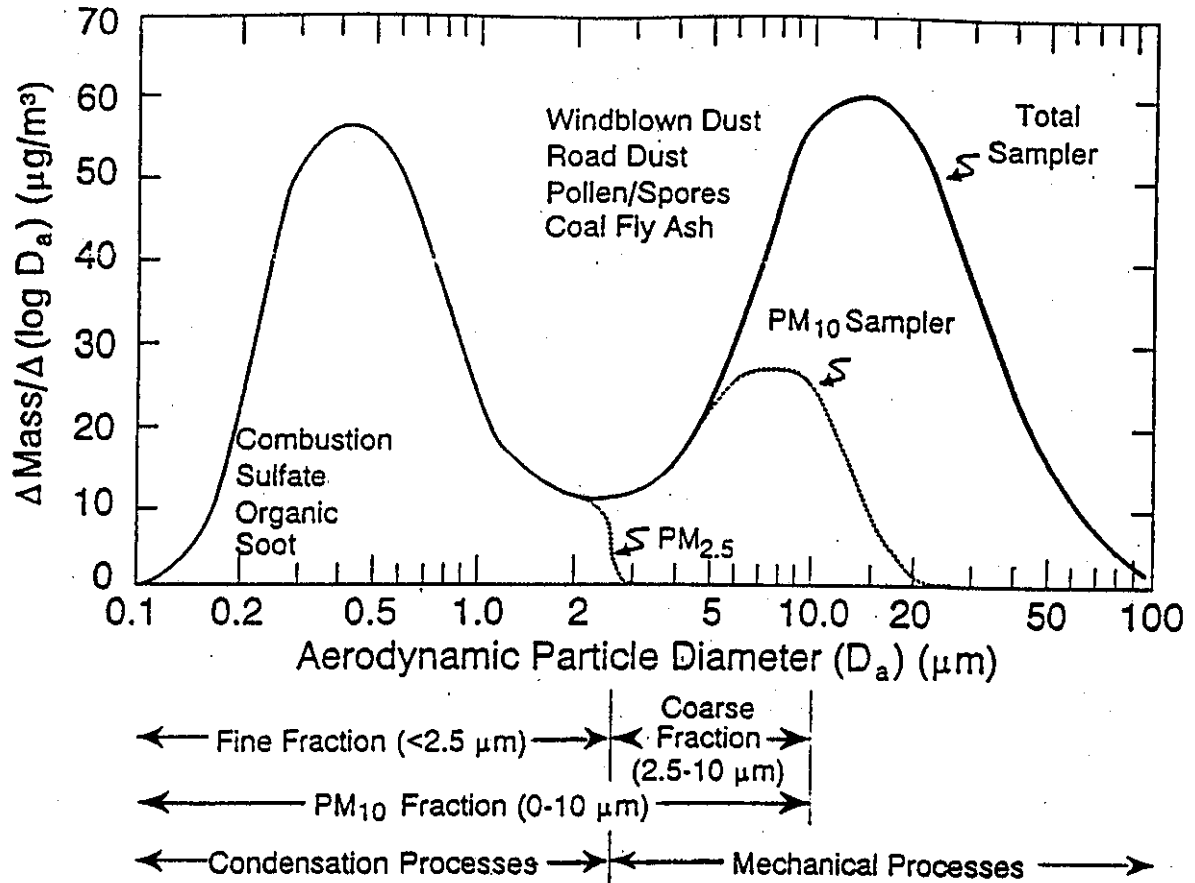
קיימת בעייה לא פשוטה כיצד להגדיר את גודלם של החלקיקים המהווים את החומר החלקיקי. מחקרים מעידים כי צורתם של החלקיקים האלה הוא בלתי רגולרי ביותר ואין אפשרות ליישם לגביהם את המונח "קוטר" במובנו הרגיל לאפיון גודל של חלקיק כדורי.

אי לכך, מסיבות מעשיות, מקובל לאפיון את גודלם של החלקיקים המהווים את החומר החלקיקי האטמוספרי באמצעות "הקוטר האווירודינמי" שלהם. הקוטר האווירודינמי של חלקיקי (לא כדורי) מוגדר כקוטר של חלקיק כדורי שמהירות שקיעתו הסופית זהה לזה של החלקיק הלא כדורי. יצויין כי התפלגות הגדלים של חומר חלקיקי הנקבע באופן נסיוני באמצעות אימפקטור רב-שלבי, היא בקירוב טוב התפלגות הקטרים האווירודינמיים שלהם. כמו כן, יעילות הסילוק של חלקיקים לא כדוריים בסולקן רטוב מתוארת בקירוב טוב אם מניחים כי התפלגות הגדלים שלהם היא בהתאם לקטרים האווירודינמיים שלהם.

התפלגות הגדלים האופיינית של חומר חלקיקי באטמוספירה נתונה באיור מס. 1 (USEPA 1994a). ניתן לראות כי התפלגות הגדלים הזו היא בי-מודלית: מקסימום אחד של החלקיקים מצוי ב-0.4 מיקרומטר,

בתחום הגדלים שבין 0.2 ו-2 מיקרומטר (תחום החומר החלקיקי העדין), מקסימום שני מצוי ב-15 מיקרומטר, בין 5 ל-30 מיקרומטר (המכוסה בחלקו על ידי תחום החומר החלקיקי הנשם), ואילו בתחום הגדלים שבין 1 ל-5 מיקרומטר ריכוז החלקיקים באוויר הוא קטן.

איור מס. 1: התפלגות בי-מודלים אופיינית של החומר החלקיקי באטמוספירה (מתוך: USEPA, 1994a).



בעייה אחרת שהתעוררה לגבי הגדרת תקן הסביבה לחומר חלקיקי, מתייחסת לשיטת המיצוע של ערכי המדידה לפרקי זמן ארוכים. בתחילה הגדיר ה-USEPA (FR, 1971) את תקן הסביבה השנתי כממוצע גאומטרי של כל תוצאות המדידה היממתיות במשך השנה. יצויין כי הממוצע הגאומטרי, בהשוואה לממוצע החשבוני הרגיל, מקטין את השפעתם של הריכוזים היממתיים הגבוהים שנרשמו במשך השנה על הממוצע השנתי. כיום מסתבר כי לחשיפה לריכוזים יממתיים גבוהים המתקבלים מידי פעם יש השפעה מצטברת גדולה על האפקט השלילי של החומר החלקיקי, וכיום ה-USEPA מנחה לחשב את הממוצע השנתי של ריכוז החומר החלקיקי באמצעות הממוצע החשבוני של ערכי הריכוז היממתי שנמדדו במשך השנה (USEDA, 40CFR50.6). כאמור, במיצוע החשבוני מקבלים ערך גבוה יותר לממוצע מאשר במיצוע הגאומטרי, ובכך, הממוצע החשבוני מייצג טוב יותר את הסיכון הבריאותי הנגרם כתוצאה מחשיפה לחומר החלקיקי באוויר.

בנוסף, מסתבר כי תוצאת הממוצע השנתי של ריכוז החומר החלקיקי באוויר מושפע באופן חזק על ידי פעילות חריגה של מזג האוויר (בעיקר, רוחות חזקות) או הטבע (סופות חול). בכדי למתן השפעה לא-רצויה זו, מנחה ה-USEPA כי הממוצע השנתי יחושב כממוצע חשבוני של 3 השנים האחרונות, ולא של שנה אחת בלבד, או שיקבע תוך שימוש בשיטות סטטיסטיות מתאימות (USEPA, 40CFR50, App.K).

3. שיטת המדידה של החומר החלקיקי באוויר

שיטת המדידה של ריכוז החומר החלקיקי באוויר היא מורכבת ומסובכת בהשוואה לשיטות המדידה של מזהמי האוויר הגזיים. שיטת המדידה הבסיסית אליה מייחסים את התוצאות בארצות הברית (USEPA, 40CFR50, App.B; App.J) ובישראל (מ"י, 1992) היא באמצעות מכשיר הידוע כדוגם בספיקה גבוהה (High Volume Sampler = HiVol).

ב-HiVol אוספים באמצעות משאבה את החומר החלקיקי שבאוויר על גבי פילטר ולאחר מכן קובעים את ריכוזו באוויר מתוך משקל החומר החלקיקי שנאסף על הפילטר וכמות האוויר שהמשאבה שאבה דרכו. יתרונה של השיטה שניתן לבצע אנליזות כימיות ופיסיקליות לחומר שנדגם על הפילטר, לקביעת הרכב החלקיקים. חסרונה של השיטה שהיא אינטגרטיבית, ואינה נותנת מידע רציף על השתנות הריכוז של החלקיקים באוויר עם הזמן.

בקהילה האירופאית (EEC, 1980), לעומת זאת ניתנה הנחייה להשתמש בשיטת העשן השחור הבריטית (Black Smoke = BS) המקובלת על מדינות ה-OECD, בה ריכוז החלקיקים באוויר נקבע באופן עקיף מתוך גוון הכתם הנוצר על ידי החלקיקים על הפילטר. נראה כי מכשיר ה-BS מודד חלקיקים שגודלם קטן מ-4.5 מיקרומטר שבתחום העדין. למעשה שיטת ה-BS המומלצת באירופה דומה לשיטת מדד ההשחרה שהיתה נהוגה בעבר בישראל (מ"י, 1971). מאוחר יותר ניתנה הנחייה להשתמש גם בשיטה גרבימטרית המתבססת על מכשיר HiVol (EEC, 1989).

מכשירים נפוצים למדידת ריכוז החומר החלקיקי באוויר הם מכשירי β , בהם מסיקים את ריכוז החלקיקים מתוך עוצמת הבליעה של קרינת ה- β על ידי החלקיקים שנאספו. יתרונו של מיכשור זה שהוא רציף ואוטומטי, אולם חסרונו שריכוז החלקיקים באוויר נקבע באופן עקיף ואינו נמדד באופן ישיר.

בשנים האחרונות פותחה שיטה חדישה, מדויקת ורציפה למדידת ריכוז החלקיקים באוויר, הידועה כ-TOEM (Patashnick and Rupprecht, 1991). חסרונה של שיטה זו שהיא עדינה ורגישה מאד ואין עדיין נסיון רב בהפעלתה.

בכדי להתאים את המיכשור למדידה של החלקיקים במיקטעי הגדלים כפי שנקבעו בתקני הסביבה, מציבים בצינור הכניסה למיכשור פילטר מיוחד המונע כניסתם של חלקיקים הגדולים מן הגודל המבוקש. מסתבר כי לא קיים פילטר המאפשר הפרדה חדה ומוחלטת בין שני מיקטעי גדלים של חלקיקים. מכשיר PM10 למשל, מוגדר כמכשיר שיעילות האיסוף שלו עבור חלקיקים שגודלם 10 מיקרומטר היא 50%, ויעילות זו הולכת ופוחתת ל-0 עבור חלקיקים גדולים יותר, והיא הולכת וגדלה ל-100% עבור חלקיקים הקטנים מ-10um (USEPA, 40CFR50, App.J).

נראה כי יש שוני ניכר בין החשיפה לחומר חלקיקי בסביבה באוויר הפתוח, לבין החשיפה הפנים-מבנית (In-door), בעיקר בגלל שהזיהום בחוץ ובפנים מקורו בגורמי זיהום שונים. נראה כי המקור העיקרי לחשיפה פנים-מבנית הוא עשן סיגריות ופליטות מן החומרים המהווים את המבנה ומה שבתוכו. בהתאם לכך פותחו מכשירי מדידה מיוחדים למדידת חשיפה אישית וחשיפה כללית פנים-מבנית, המבוססים על אימפקטור (PEN/MEM, MOUDI).

בלוחות 1 ו-2 (USEPA, 1994a) מוצגים מכשירים נפוצים לדגימה ולניטור של חומר חלקיקי באוויר.

בלוח מס. 3 מרוכזים תקני סביבה שהתפרסמו בעולם לחומר חלקיקי ננשם באוויר (PM10) (ששאי"ס, 1984).

לוח מס. 1: מיכשור לדגימה (מדידה אינטגרטיבית) של חומר חלקיקי באוויר (לפי USEPA, 1994a)

שימושים / הערות	תחום הספיקות (ליטר/דקה)	תחום הגדלים של החלקיקים (um)	עקרון המדידה	סוג המכשור
מדידות בסביבה	1,400	45 - 0	פילטר מוגן	דוגם חלקיקים בספיקה גבוהה (HiVol)
מדידות בסביבה	1,130	10 - 0	אימפקטור / ציקלון	דוגם חלקיקים עדינים בספיקה גבוהה (PM10HiVol)
מדידות בסביבה	16.7	2.5 - 0 10 - 2.5	אימפקטור וירטואלי	דוגם דיכוטומי בספיקה נמוכה (LoVol)
מדידות בסביבה, זיהוי מקורות	1,130	2.5 - 0 10 - 2.5	אימפקטור וירטואלי	דוגם דיכוטומי בספיקה גבוהה (HiVol)
מדידות פנים מבניות וחשיפה אישית	10 - 2	2.5 - 0 10 - 2.5	אימפקטור	מכשיר לניטור חשיפה אישית (PEM) מכשיר לניטור מיקרו סביבה (MEM)
התפלגות גדלים (10 שלבים)	30	10 - 0.56	אימפקטור	MOUDI
התפלגות גדלים (9 שלבים)	30	16.7 - 0.036	אימפקטור	ברנר

לוח מס. 2: מיכשור לניטור (מדידה רציפה) של חומר חלקיקי באוויר (לפי USEPA, 1994a)

סוג המכשור	עקרון המדידה	הספיקה (ליטר/דקה)	שימושים/הערות
מכשיר β	אטנואציה של קרינת β	16.7	ניטור TSP ו-PM10
מכשיר TOEM	גלאי מסה ישיר	16.7	ניטור TSP ו-PM10
נפלומטר אינטגרטיבי	פיזור אור	75	ניטור מרחק הראות
מונה חלקיקים אופטי (OPC)	פיזור אור	משתנה	גודל חלקיקים ומספרם
ממין חלקיקים אווירודינמי (APS)	משך זמן התנועה	5	גודל חלקיקים ומספרם

לוח מס. 3: תקני סביבה בעולם לחומר חלקיקי ננשם באוויר (PM10) (לפי ששאיס 1984)

הערות	זמן מיצוע			ארץ
	1 שנה	24 שעות	1 שעה	
אין התייחסות לסוג המיצוע; שיטת המדידה בהתאם לקביעתו של מנכ"ל המשרד לאיכות הסביבה	60	150	----	ישראל
ממוצע חשבוני; מדידה גרביטרית (HiVol)	50	150	----	ארה"ב
ממוצע גאומטרי מדידה גרביטרית (HiVol)	30	50	----	קליפורניה
-----	----	200 (98%)	----	יפן
שיטת המדידה עשן שחור של ה-OECD שוות ערך למדידה של PM 4.5.	----	40(חציון) 150 (98%)	----	הקהילה האירופאית

4. תוצאים בריאותיים

המחקר המדעי מראה כיום כי יש אסוציאציה חזקה בין תוצאים בריאותיים שליליים לבין ריכוז החומר החלקיקי העדין (שגודל חלקיקיו פחות מ-2.5 מיקרומטר) דווקא. נראה כי סיכוני הבריאות הנגרמים על ידי החומר החלקיקי באוויר מושפעים מאוד על ידי יכולת החדירה שלהם לעומק מערכת הנשימה, מידת שקיעתם באזורים השונים של מערכת הנשימה וכן לתגובה הביולוגית שיוצרים החומרים ששקעו.

מחקר מדעי קודם נטה למצוא אסוציאציה כזו עם ריכוז החלקיקים הננשם (שגודל חלקיקיו פחות מ-10 מיקרומטר), וזאת הסיבה שתקני הסביבה לחומר חלקיקי באוויר שנקבעו עד כה מתייחסים ל-PM10.

בהתאם לממצאים האחרונים, יש מדענים המבקשים לשנות את תקן הסביבה לחומר חלקיקי באוויר מ-PM10 ל-PM2.5, דבר הכרוך בהשקעות ניכרות בשינוי מיכשור הדגימה.

יחד עם זאת, מאחר והריכוז האופייני של החומר החלקיקי באוויר בתחום הגדלים של 1-5 מיקרומטר הוא נמוך (סעיף 2 לעיל), ויעילות האיסוף של מיכשור הדגימה PM10 בתחום הגדלים של 5-10 מיקרומטר הוא נמוך אף הוא (סעיף 3 לעיל), יתכן ואין משמעות מעשית רבה לשינוי המיכשור מ-PM10 ל-PM2.5.

סיכום של התוצאים הבריאותיים השליליים שנחקרו ונמצאו בשנים האחרונות לגבי חשיפה לחומר חלקיקי באוויר פורסם על ידי ה-USEPA (USEPA, 1994).

מחקרים אפידמיולוגיים שעוררו לאחרונה הד רב בארצות הברית וגם בישראל דנים בקשר (האסוציאציה) שנמצא בין זיהום האוויר ותמותה מוגברים בערים שונות בארה"ב, כגון דטרויט, בירמינגהם ופילדלפיה (Schwartz, 1991; Schwartz, 1992; Schwartz and Dockery, 1993) וב-6 ערים נוספות (Dockery et al, 1993). המסקנה העיקרית של מחקרים אלה היא כי חומר חלקיקי עדין (קרי, PM2.5), וכן תערובת של מזהמים מורכבים יותר עם החומר החלקיקי העדין, תורמים לעודף תמותה במספר ערים בארצות הברית.

יתר על כן, מחקרים אפידמיולוגיים אלה מעידים על קשר בין עודף תמותה ותחלואה בכמה ערים בארה"ב לבין חשיפה לריכוזים של חומר חלקיקי ננשם באוויר הנמוכים בהרבה (במקרה אחד, 30 מיקרוגרם למטר מעוקב) מתקן הסביבה המתאים הנמצא היום בתוקף בארה"ב, העומד על 150 מיקרוגרם למטר מעוקב כממוצע יממתי (USEPA, 40CFR50.6; FR, 1987).

ראוי לציין כי מדינת קליפורניה שבארה"ב לא קיבלה את תקן הסביבה היממתי לחומר חלקיקי שקבע ה-USEPA ב-1987 (ראה סעיף 5 להלן), והם פירסמו תקן יממתי מחמיר הרבה יותר בשיעור של 50 מיקרוגרם למטר מעוקב. כמו כן יש לציין כי בערים הידועות בזיהום האוויר הכבד שלהן (דוגמת מקסיקו סיטי), נרשמים ריכוזים של חומר חלקיקי ננשם המתקרבים ל-150 מיקרוגרם למטר מעוקב (Rupprecht, 1994).

יחד עם זאת, נראה כי המרחק לקונצנטוס של המדענים לגבי משמעותם של ממצאים אפידמיולוגיים אלה הוא גדול, כפי שיעידו ההסתייגויות שפירסם Schenker (1993) במאמר המערכת בעיתון רפואי מדעי המכובד, בצמוד למאמרם הנ"ל של Dockery et al. (1993), והסתייגויותיו של פרופ' ג'י גולדסמית הכלולות במכתבו למערכת אותו עיתון (Goldsmith, 1994).

גם שנקר וגם גולדסמית מציינים שדרוש עדיין מחקר נרחב נוסף. שנקר מצייין כי עד כה לא מצאו החוקרים תוצאים פתולוגיים שניתן לייחסם לחשיפה לרמות סביבתיות של חומר חלקיקי באוויר, להוציא התקפי אסתמה. גולדסמית מצייין כי דרוש מחקר נוסף שיאפשר לקבוע את השפעותיהם על התמותה והתחלואה של עישון סיגריות, הבדלים גאוגרפיים, הבדלים סוציו-כלכליים והשפעות של חשיפה תעסוקתית. שנקר וגולדסמית מזהירים שניהם כי האסוציאציה שנמצאה בין תמותה עודפת ורמות זיהום אוויר חלקיקי מוגברות אינה בהכרח הוכחה לכך שזיהום האוויר החלקיקי המוגבר הוא הסיבה לעודף התמותה.

בסיכום של ה-USEPA (1994, 1994a), מאוזכרים 4 ממצאים בריאותיים עיקריים לגבי התוצאים של חשיפה לחומר חלקיקי באוויר:

- א. חשיפה לריכוזים גבוהים של PM_{10} מלווה בעלייה בקצבי התמותה של מבוגרים (על בסיס יממתי וגם על בסיס שנתי). עודף תמותה זה נובע ממחלות במערכת הלב-ריאה וגם מסרטן הריאה. נראה כי יש גידול בקצב התמותה בבני אדם שגילם 40 ומעלה, המתבטא בקיצור תוחלת החיים בשיעור של 3-5 שנים.
- ב. חשיפה לריכוזים גבוהים של PM_{10} מלווה בתחלואה המתבטאת בהפרעות במערכת הנשימה (כולל שיעול, הפרשת כוח, צפצופים וכד'), התקפי אסתמה, דלקת ריאות, ברונכיטיס ומחלות של חסימה כרונית של בריאות.
- ג. ילדים מהווים קבוצת סיכון מיוחדת אשר לגביה מדווח שיעור תחלואה גבוה יותר מאשר לגבי האוכלוסיה הכללית.
- ד. מחקרי רעילות לגבי PM_{10} בדרך כלל מראים על רמת רעילות נמוכה למדי.

5. סקירת תקן הסביבה לחומר חלקיקי באוויר של ארה"ב

תקני סביבה לאיכות אוויר נקבעו בארה"ב לראשונה בהמשך לתיקון של שנת 1970 לפקודת האוויר הנקי. בתגובה לחקיקה זו, פירסם ה-USEPA, שהוקם באותה העת, תקני סביבה למוזהמי אוויר שונים ביניהם גם לחומר החלקיקי (FR, 1971). חקיקה זו דרשה גם כי תקני איכות אוויר אלה ילוו במסמכי קריטריונים הכוללים סיכום של המידע הסביבתי והבריאותי הקיים לגבי הנזקים והתוצאים השליליים עליהם התבססו בעת קביעת תקנים אלה.

פקודת האוויר הנקי הנחתה את ה-USEPA לפרסם תקני סביבה ראשוניים, שמטרתם להגן על בריאות הציבור (המתבססים על התוצאים הידועים של מזהמי האוויר עם מקדם בטחון נאות), ותקני סביבה שניוניים, שמטרתם להגן על רווחת הציבור. הגנה על רווחת הציבור פרושה למנוע נזק כתוצאה מנוכחות מזהמי אוויר שנגרם או שעלול להגרם לצמחייה, לגידולים חקלאיים, לקרקעות, למים, לבעלי חיים, לחומרים המיוצרים בידי אדם, למזג האוויר, למרחק הראות (Visibility) ולאקלים. כמו כן, מיועד תקן הסביבה השניוני לתת הגנה מנזקים לרכוש או מתהליכים המפחיתים את ערכו, מנזקים לתחבורה או מפני תוצאים הפוגעים בנוחות האישית והרווחה הכללית. פקודת האוויר הנקי גם מחייבת את ה-USEPA לערוך בדיקה תקופתית של תקני הסביבה, ובמידת הצורך, לשנות ולעדכן אותם ואת הקריטריונים לקביעתם.

ב-1971 פרסם ה-USEPA תקני סביבה ראשוניים ושניוניים לחומר חלקיקי באוויר (FR, 1971). כשיטת הייחוס לקביעת ריכוז החומר החלקיקי באוויר נקבעה שיטה גרבימטרית באמצעות מכשיר הדוגם בספיקה גבוהה (HiVol), האוסף את כל החלקיקים באוויר עד לגודל של כ-45 מיקרומטר (USEPA, 40CFR50, App. B). מכאן שהאינדיקטור המקורי שבחר ה-USEPA לאפיון הזיהום החלקיקי באוויר היה כל מיסטע החומר החלקיקי המרחף (TSP). באותה עת, נקבעו ערכים שונים לתקני הסביבה הראשוניים והשניוניים.

ב-1979, החל ה-USEPA בבדיקה תקופתית של תקן הסביבה לחומר חלקיקי באוויר (FR, 1979). כאשר גישתו הראשונית התבססה על בדיקה משולבת של התוצאים הנגרמים על ידי החומר החלקיקי עם תחמוצות הגופרית.

בהמשך מהלך הבדיקה, לא התקבלה גישה זו ותקני הסביבה לחומר חלקיקי באוויר שהתפרסמו בסופו של דבר מתייחסים בנפרד לחומר החלקיקי (USEPA, 40CFR50.6), לעופרת (USEPA, 40CFR50.12),

ולגופרית דו-חמצנית (USEPA, 40CFR50.5). לעומת זאת, התגבשה במהלך הבדיקה הגישה כי יש לבסס את תקן הסביבה לחומר חלקיקי באוויר על המיקטע הננשם (PM10), וכי יש לשנות בהתאם את הריכוזים המירביים המותרים בתקן הסביבה, ב-1987 התפרסם העדכון לתקני הסביבה לחומר חלקיקי (USEDA, 40CFR50.6; FR, 1987), כדלקמן:

- א. נקבע תקן סביבה ראשוני לחומר חלקיקי באוויר המבוסס על PM10.
 - ב. נקבע תקן סביבה ראשוני לחומר חלקיקי באוויר בממוצע יממתי (24 שעות) של 150 מיקרוגרם למטר מעוקב.
 - ג. נקבע תקן סביבה ראשוני לחומר חלקיקי באוויר בממוצע שנתי של 50 מיקרוגרם למטר מעוקב.
 - ד. נקבע כי תקני הסביבה השניוניים לחומר חלקיקי באוויר הם זהים לתקני הסביבה הראשוניים.
- לאור הממצאים החדשים על עודף התמותה והתחלואה בהקשר עם חשיפה לחומר חלקיקי ננשם בריכוזים הנמוכים בהרבה מתקן הסביבה הקיים, נערך ה-USEPA לבדיקה תקופתית נוספת של תקני הסביבה לחומר חלקיקי באוויר (USEPA, 1994, 1994a). סיום הבדיקה והגשת הטיוטה הסופית של המסמך המסכם את ממצאי הבדיקה צפוי להיות מוגש לפי התוכנית לא לפני נובמבר 1995.

6. המלצות

- א. לבדוק במסגרת של וועדת מומחים בין-תחומית את תקני הסביבה הישראליים לחומר חלקיקי באוויר, ולהמליץ במידת הצורך על עדכונים, ובפרט:
 - ב. לבדוק את תקני הסביבה הישראליים לחומר חלקיקי ננשם (PM10) ולהמליץ במידת הצורך על עדכון הריכוזים המירביים המותרים לפיהם.
 - ג. לבדוק את הצורך בפרסום תקני סביבה ישראליים לחומר חלקיקי עדין (PM2.5), ולהמליץ במידת הצורך על הריכוזים המירביים המותרים לפיהם.
 - ד. לבדוק את נחיצותם של תקני סביבה ישראליים לכלל חומר חלקיקי (TSP), ולהמליץ, במידת הצורך, על הריכוזים המירביים המותרים לפיהם.
 - ה. לבדוק את תקני הסביבה הישראליים השנתיים לחומר חלקיקי באוויר ולהמליץ על שיטת המיצוע (חשבוני או גאומטרי).
 - ו. לבדוק את תקני הסביבה הישראליים לתרכובות ספציפיות בחומר החלקיקי באוויר ולהמליץ במידת הצורך על עדכונים, שינויים ותוספות.
 - ז. לקיים מעקב צמוד, במסגרת וועדת המומחים הבין-תחומית הנייל, אחר ממצאי הבדיקה המתבצעת עתה על ידי ה-USEPA וללמוד את המסקנות הכלולות בטיוטת המסמך הסופי האמור להתפרסם על ידי ה-USEPA בסוף 1995. לשם כך ניתן להעזר בד"ר דוד מייגי מ-USEPA ב-RTP, המרכז שם את פרויקט הכנת טיוטת מסמך הבדיקה.

7. תודות

תודה לד"ר אורי דיון, ממ"ג שורק על שהעמיד לרשות המחבר לצורך כתיבת מאמר זה את החומר המעודכן על פרויקט הכנת טיוטת מסמך הטיוטה, שנמסר לו ע"י ד"ר דוד מייגי (USEPA, 1994; 1994a).

8. רשימת ספרות

- מ"י, (1971). תקנות למניעת מפגעים (איכות אוויר) תשל"ב - 1971, מדינת ישראל, ירושלים, קובץ תקנות התשל"ב 2783 (12.12.1971), עמ' 380.
- מ"י, (1972). תיקון התקנות למניעת מפגעים (איכות אוויר) תשל"ב-1971, מדינת ישראל, ירושלים, קובץ תקנות התשל"ב 2838 (31.11.1972), עמ' 360.
- מ"י, (1992). תקנות למניעת מפגעים (איכות אוויר) התשנ"ב-1992, מדינת ישראל, ירושלים, קובץ תקנות 5435 (16.4.92), עמ' 972.
- שש"מ, (1984). תקן סביבה לחומר חלקיקי באוויר (טיוטה), פרסום 84-03, השרות לשמירת איכות הסביבה, משרד הפנים, ירושלים יוני 1984, 47 עמודים.
- Dockery D.W. et al. (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six US Cities, *New Engl. Jour. Medic.*, Vol. 329(24). 1753-59 (9.12.1993 .)
- EEC (1980). Council Directive of 15.7.1980 on Air Quality Limit Values and Guide Values for Sulfur Dioxide and Suspended Particles (80/779/EEC), European Economic Commission (EEC), *Official Jour. (OJ) No. L229* (30.8.1980), Brussels. 30-48.
- EEC (1982). Council Directive of 3.12.1982 on Limit Value for Lead in the Air (82/884/EEC), *EEC, OJ No. L302* (15.11.1982), Brussels. 9-12.
- EEC (1989). Council Directive of 21.7.1989 Amending Directive 80/779/EEC on Air Quality Limit Values and Guide Values for Sulfur Dioxide and Suspended Particles *OJ No. L201* (14.7.1989), Brussels. 53-55.
- FR (1971). National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards (NAAQS), Federal Register (FR) (30.4.1971), USEPA, Washington DC, USA, Vol. 436. 8186-201.
- FR (1979). National Ambient Air Quality Standards - Review of Criteria and Standards for Particulate Matter and Sulfur Dioxide, Federal Register (2.10.1979), USEPA, Washington DC, USA, Vol. 44. 56730-731 .
- FR (1986). National Ambient Air Quality Standards - Review of Criteria and Standards for Particulate Matter and Sulfur Dioxide, Federal Register (3.7.1986), USEPA, Washington DC, USA, Vol. 51. 24392-393 .
- FR (1987). Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter and Sulfur Dioxide, Federal Register (1.7.1987), USEPA, Washington DC, USA, Vol. 52. 24634-669.
- Goldsmith J. (1994). Letter Submitted for Publication to *New Engl. Jour. Medic.*
- Patashnick H. & E. Rupprecht (1991). Continuous PM-10 Measurements Using the Tapering Element Oscillating Microbalance (TEOM), *Jour. Air Waste Manage.*, Vol. 41(8). 1079-83.

- Rupprecht E. (1994). Personal Communication.
- Schenker M.(1993). Air Pollution and Mortality, **New Engl. Jour. Medic.**, Vol. 329(24). 1807-1808 (9.12.1993).
- Schwartz J. (1991). Particulate Air Pollution and Daily Mortality in Detroit, **Envir. Res.**, Vol. 56. 204-213.
- Schwartz J. (1993). Particulate Air Pollution and Daily Mortality in Birmingham, Alabama, **Amer. Jour. Epid.**, Vol. 137. 1136-47.
- Schwartz J. & D.W. Dockery (1992). Increased Mortality in Philadelphia Associated with Daily Air Pollution Concentrations, **Amer. Review Respir. Dis.**, Vol. 145. 600-604.
- USEPA, 40CFR50.5. National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for Sulfur Dioxide, **Code Federal Register (CFR)**, Washington DC, USA .
- USEPA, 40CFR50.6. National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, **Code Federal Register (CFR)**, Washington DC, USA .
- USEPA, 40CFR50.12. National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for Lead, **Code Federal Register (CFR)**, Washington DC, USA .
- USEPA, 40CFR50, App. B. Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High Volume Sampler), **CFR**, Washington DC, USA .
- USEPA, 40CFR50, App. G. Reference Method for the Determination of Lead in Suspended Particulate Matter Collected from Ambient Air, **CFR**, Washington DC, USA.
- USEPA, 40CFR50, App. J. Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere, **CFR**, Washington DC, USA.
- USEPA, 40CFR50, App. K. Interpretation of the National Air Quality Standards for Particulate Matter, **CFR**, Washington DC, USA .
- USEPA, 40CFR53.34. Test Procedures for Methods for PM₁₀ ,**CFR**, Washington DC, USA .
- USEPA (1982). Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides, **USEPA Reports Nos. EPA-600/8-82-029a-c (3 Vols.)**, (PB84-156777), RTP, NC, USA.
- USEPA (1994). Project Workplan for Preparation of Air Quality Criteria for PM (Draft 25.11.1994), **USEPA**, RTP, NC, USA.
- USEPA (1994a). Particulate Matter Research Program Strategy - Health and Exposure Issues (Draft 25.11.1994), **USEPA**, RTP, NC, USA.
- WHO (1987). Air Quality Guidelines for Europe, **WHO Publication - European Series No. 23**, Copenhagen (ISBN 92-890-1114-9). 426pp.



חוקר בטכניון מעריך: כ-1,000 מתים בישראל מדי שנה עקב זיהום אוויר

פרופ' נעם גבריאלי קורא להחמיר את התקן הישראלי לזיהום אוויר

מאת גבי זור

רות גם חלקיקים עדינים, להוציא צווים נגד מפעלים ואישים הפולטים זיהום אוויר חלקיקי ולהגביר את האכיפה נגד זיהום אוויר מר כב מנועי.

ד"ר מיכאל גרבר, מנהל האגף לאיכות אוויר במשרד לאיכות הסביבה, אמר כי החלו להכין מסך הכולל תקנים לאיכות אוויר. לדבריו, התקנים הקיימים בישראל אל דומים לתקנים באירופה ובארצות הברית.

ד"ר ברנרד פליקסטיין, סמנכ"ל איגוד ערים לאיכות הסביבה, מסרה בכנס כי 30% מהחריי גות מהתקן לאיכות האוויר נגרמות בוודאות על ידי מפעלי תעשייה וכ-80% מהם הינם צרכני הדלק הגדולים כמו חברת החשמל ובתי היוקרה.

כ-16 שנה. פרופ' גבריאלי ציין כי לפי המחקר האמריקאי, במקומות בהם רמות זיהום האוויר היו דרמות לרמה הממוצעת בישראל, נר תן היה למנוע תמותה של כ-1000 בני אדם מדי שנה, לו החמיר התקן לזיהום אוויר מחלקיקים.

פרופ' גבריאלי הרגיש כי במחד קר נמצא קשר מתמשך בין שיעור התמותה לריכוז החלקיקים המזוהמים באוויר. החוקר ציין כי אין אפשרות להצביע עדיין על תקן כלשהו שניתן להגדירו כ"סביר". עם זאת, לפי ממצאי המחקר האמריקאי, התקן הישראלי בלתי מספק.

המשמעות הכמותית של ממצאים אלה לגבי ישראל, אומר פרופ' גבריאלי, שהורדת ריכוזי המזהמים בשיעור של 20 מיקרוגרם רס למ"ק תביא לירידת בתמותה של 192 בני אדם לכל מיליון תושבים בשנה, שהם כ-1000 מקרי מוות בשנה.

פרופ' גבריאלי ממליץ, בין השאר, לשכלל את מערך ניטור החלקיקים בישראל ולכלול במדי

התקן הישראלי לזיהום אוויר מחלקיקים אינו מקנה הגנה מספיק קט לצבור וקיים מתאם מובהק בין רמות זיהום אוויר מחלקיקים הניתנים לנשימה ועודף תמותה, כך אמר אתמול פרופ' נעם גבריאלי מהיחידה לפיזיולוגיה נשימתית בטכניון.

פרופ' גבריאלי מסר כי שיעור התמותה העורפת המשוערת בישראל כתוצאה ממחלות ריאה, לב וכלי דם, וסרטן היא כ-1,000 מקרי מוות בשנה. מספר זה מבוטס על תחשיבים שנעשו במחקרים דומים בארצות הברית. לדברי פרופ' גביאלי, ניתן יהיה להקטין את מספר מקרי המוות לשנה אם יחמיר תקן לזיהום אוויר מחלקיקים.

בהרצאה במוסד "שמואל נאמן" בטכניון, התייחס פרופ' גבריאלי לשאלה אם התקן הישראלי לזיהום אוויר מחלקיקים מקנה הגנה מספקת לצבור. הוא פירט ממצאי מחקר שהתקיים ב-6 ערים בארצות הברית על ידי קבוצת חוקרים מאוניברסיטת הרווארד, ונמשך



הארץ 20.1.95

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל



מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה
קריית הטכניון, חיפה 32000, טל. 237145/292329 פקס 04231889