



משרד החינוך  
המזכירות הפדגוגית  
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים



מטה מל"מ  
המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי  
על שם עמוס דה-שליט



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
המחלקה להוראת הטכנולוגיה המדעים  
קבוצת הכימיה

# איכות האוויר סביבנו

**אורית הרשקוביץ**

**יהודית דורי**

## ברצוננו להודות :

- ♥ לד"ר דורית באום, מרכזת ענף חינוך והסברה, המשרד להגנת הסביבה, מחוז חיפה על הקריאה המעמיקה וההכוונה המדעית
- ♥ לד"ר צביה קברמן על הקריאה המעמיקה ומתן הצעות מועילות
- ♥ לשרון ברק על העזרה הרבה באיסוף מידע למהדורה העדכנית של הספר ושידרוג הגרפיקה באיורים שונים בספר
- ♥ לאמירה אלוש על עזרתה בתיכנון פעילות בפרק ההתחממות העולמית
- ♥ לד"ר מיכל נחשון, מפקחת ארצית (מפמ"ר) להוראת מוט"ב, משרד החינוך ולד"ר רקפת דנאי, רכזת תחום מוט"ב, האגף לתיכנון ולפיתוח תוכניות לימודים, משרד החינוך וכן למדריכות מוט"ב: ענת אסולין, מיכל בן אליהו וטובה גולן על קריאתן את המהדורה המחודשת של הספר ומתן הערות חשובות
- ♥ לד"ר עירית ששון, לד"ר ענת אברמוביץ, לד"ר סיגל כורם וליגאל אורגד על הסיוע בגרסה הראשונה של הספר

ייעוץ מדעי: ד"ר דורית באום

עריכה לשונית: גבי שרה אופק

עיצוב וגרפיקה: נועם שושן

עיצוב כריכה ואיורים: טל הרשקוביץ

עריכה: ד"ר אורית הרשקוביץ

## © כל הזכויות שמורות – משרד החינוך

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאכסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או בכל אמצעי אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בספר זה אסור בהחלט, אלא ברשות מפורשת בכתב מהמחברים.

**מהדורה רביעית, מורחבת ומעודכנת, תשע"ב - 2011**

## הקדמה

יחידת הלימוד עוסקת בהיבטים שונים של איכות האוויר, תוך יישום התפיסה החינוכית-מדעית-סביבתית המשלבת בין יעדים קוגניטיביים של הקניית ידע רב-תחומי ויעדים התנהגותיים-חברתיים של פיתוח מודעות, לקיחת אחריות ושיפוט ערכי.

ההיבט המדעי עוסק בהכרת הרכב האוויר בשכבות השונות באטמוספירה, בכימיה של מזהמים ושל תהליכים באטמוספירה, במחזורים ביו-גאוכימיים (מחזור הפחמן, החנקן והחמצן) ובשינויים אקלימיים כלל עולמיים (ההתחממות העולמית והדלדלות בשיכבת האוזון המקיפה את כדור הארץ).

ההיבט הטכנולוגי דן בהשפעת הקדמה הטכנולוגית על איכות האוויר, ובפיתוח אמצעים טכנולוגיים לבקרה ולהקטנה של זיהום האוויר.

ההיבט הסביבתי עוסק בהכרת הסביבה כמערכת אקולוגית, ביחסי הגומלין בין מרכיבי הסביבה הטבעית (אוויר-מים-קרקע) ובהכרת הנזקים הנגרמים על ידי גורמים חיצוניים המפריים את האיזון הטבעי בסביבה.

ההיבט החברתי קשור בהשפעה של פעולות האדם על איכות האוויר ובצורך למודעות ולמעורבות האדם, כאזרח נאור בחברה, לפעול לשיפור איכות החיים שהאוויר הוא אחד מהמרכיבים החיוניים בה.

ההיבט הכלכלי מטפל בעלות הכלכלית הקשור בזיהום האוויר: נזקים לחקלאות ולמבנים, תחלואה כתוצאה מזיהום אוויר, עלות התקנת אמצעי בקרה ומניעה ואכיפתם החוקית.

ההיבט הבריאותי עוסק בנזקים הבריאותיים הנגרמים לאדם ממזהמים שונים באוויר.

### כתיבת החומר הלימודי נעשתה תוך התייחסות לעקרונות האלה:

- שילוב חקר אירועים הקשורים לנושאים הנלמדים, בהם: אירוע היסטורי חשוב, אירוע מקומי מוכר או בעיה כלל עולמית. חקר האירוע כולל שימוש בקטעי מאמרים, בקטעי עיתונות מקוריים או מעובדים וניתוח המידע באירוע באמצעות שאלות ברמות חשיבה שונות.
- עידוד חשיבה ברמה קוגניטיבית גבוהה: ניתוח מידע מטקסט, מגרף, מטבלה ומסכמה; חשיבה ביקורתית ושאלת שאלות; שיפוט ערכי והבעת דעה מנומקת, פתרון בעיות ויצירתיות.
- הפניה למאגרי מידע באינטרנט בארץ ובעולם.

### על המהדורה המחודשת:

השינויים שהוכנסו במהדורה מעודכנת ומורחבת זו נועדו להתאים את הספר להתפתחות שחלה בארץ בחינוך הסביבתי במאה ה-21, ובתפיסה של נושא איכות האוויר בעולם ובדרכי ההתמודדות עמו, להלן השינויים המרכזיים במהדורה זו נוסף לשדרוג העיצובי והגרפי:

- ✓ כל טבלאות הנתונים והגרפים אשר הכילו מידע בנוגע לאיכות האוויר בשנות ה-90, הוחלפו והותאמו לשנות האלפיים.
- ✓ כל הכתבות הוחלפו בכתבות מעודכנות הקשורות לנושא איכות האוויר בארץ.
- ✓ נוספו פעילויות לתלמידים הכוללות הפנייה לאינטרנט, ולאתרים מרכזיים בארץ: אתר המשרד להגנת הסביבה, אתר אדם טבע ודין, אתרי איגודי הערים הגדולות בארץ ואתר משרד התשתיות הלאומיות של מדינת ישראל.

- ✓ נוספו משימות לתלמידים המדגישות מיומנויות של השוואה, העלאת טיעונים והנמקה, משחקי תפקידים וחשיבה ביקורתית.
- ✓ עודכן המידע בעניין הממיר הקטליטי והוסף מידע בנוגע למכוניות חשמליות, כולל מיזמים עדכניים בנושא.
- ✓ כל הפרק של אפקט החממה הותאם לתפיסת הנושא כבעיה של התחממות גלובלית. הוסף מידע הקשור בפעילות כלל עולמית בנושא (אמנות ותקנות עולמיות), היערכות לטיפול בבעיה בארץ, ופעילות של האזרחים להקטנת פליטת גזי חממה (טביעת רגל פחמנית כמדד לפליטה האישית והציבורית).
- ✓ כל נושא השימוש בפריאונים עודכן לשנים האחרונות, והוסף מידע בעניין השימוש במתיל ברומיד בארץ ובעולם.
- ✓ עודכנו תקני איכות האוויר בארץ, כולל חוק אוויר נקי הנכנס לתוקף בימים אלו.

...לא קיבלנו את הארץ במתנה מהורינו, קיבלנו אותה בהשאלה עבור ילדינו...

## פתיחה - מה אנו נושמים?



## שכבות האטמוספירה העוטפות את כדור הארץ

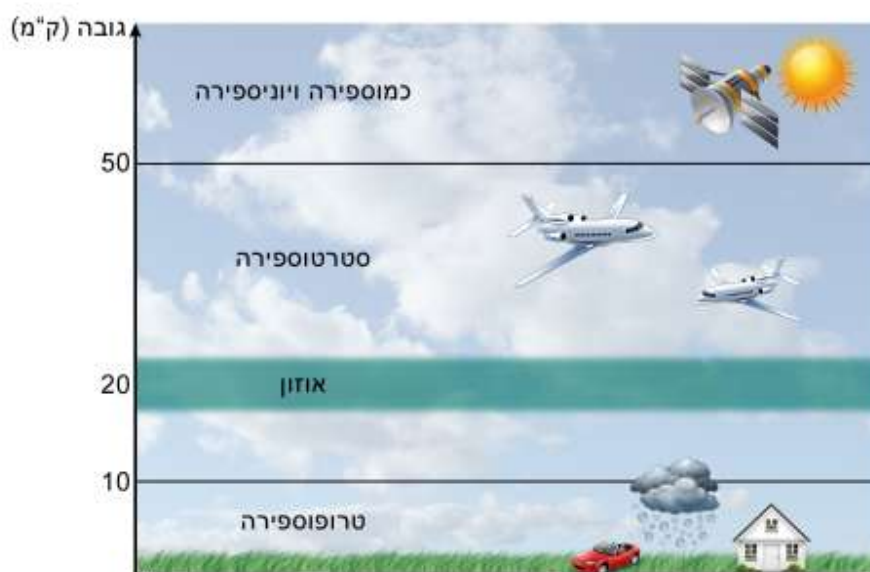
אנו קוראים בשם **אטמוספירה** לשכבות האוויר או הגז המקיפות את כדור הארץ או כל כוכב לכת אחר. האטמוספירה של כדור הארץ יוצרת לחץ על גוף האדם, אך איננו מרגישים לחץ זה כי הוא מתאזן על-ידי לחץ האוויר שבתוך הגוף. ככל שנגביה, יקטן הלחץ וכך תקטן גם צפיפות האויר. קרוב לפני כדור הארץ צפיפות האוויר שווה ל-  $1.3 \times 10^{-3}$  גר"/סמ"ק. בסביבות 100 ק"מ מעל פני כדור הארץ צפיפות האוויר נמוכה פי 6.

השכבה הנמוכה ביותר נקראת **טרופוספירה**. זו היא השכבה שאנו חיים בה. הטרופוספירה מכילה כ-75% מהמסה הכוללת של האטמוספירה. בשכבה זו מתרחשים כל התהליכים האקלימיים, ונוצרים רוב סוגי העננים. ככל שנגביה בטרופוספירה, תרד הטמפרטורה (עד ל- 55 מעלות צלזיוס מתחת לאפס). גובה הטרופוספירה משתנה מ- 8 ק"מ ברוב אזורי כדור הארץ ועד 18 ק"מ באיזור קו המשווה.

שכבת האטמוספירה השנייה נקראת **סטרטוספירה**. לחץ האוויר הנמוך והרוחות הקבועות הנושבות בה (מהירותן מגיעה ל- 300 קמ"ש) מנוצלים לתנועת מטוסי סילון. עוברים בה גלים אלקטרומגנטיים, כמו אלו המשמשים לשידורי רדיו, לטלוויזיה וכדומה. יש בה בליעה ופיזור של אנרגיית השמש וכן שאריות של פיצוצים גרעיניים והתפרצויות וולקניות. בשכבה זו מצוי אוזון שבוולע את קרינת ה-U.V. מהשמש, ומונע את חדירתה לטרופוספירה.

השכבה השלישית נקראת **כמוספירה** והרביעית **יוניספירה**. בשכבות אלו יש מולקולות מועטות של גזים בפיזור רב. זהו התחום שנעים בו לוויינים במסלולים סביב כדור הארץ. כמו כן חשובות שכבות אלו בתחום גלי רדיו ובנושא זיהום אוויר, עקב הבליעה והפיזור של אנרגיית השמש המשפיעים על כמות הקרינה הקוסמית המגיעה לסטטוספירה ולטרופוספירה. את השכבות השונות ניתן לראות באיור זה:

מבנה האטמוספירה כתלות בגובה מעל פני כדור הארץ



## משימה 1: ניתוח מידע

1. סכמו בטבלה את המאפיינים של השכבות השונות של האטמוספירה. היעזרו גם באיור מבנה האטמוספירה.
2. באיזו משכבות האטמוספירה מתרחש זיהום האוויר המשפיע ביותר על בריאותנו? נמקו.

## מהו אוויר נקי?

### משימה 2: דיון קבוצתי

1. האם לדעתכם איכות האוויר בסביבתנו היא טובה?
2. באילו אזורים בארץ היא פחות טובה לדעתכם? מדוע?
3. איזה גורם או אילו גורמים אתם מכירים אשר תורמים לאיכות אוויר ירודה?
4. מדוע לדעתכם התופעה לא הייתה קיימת בעבר?
5. סכמו בקצרה את תוצאות הדיון בקבוצתכם, והשלימו את הטבלה:

מקורות זיהום אוויר בהווה	מקורות זיהום אוויר בעבר

6. ערכו דיון כיתתי בנושא.

### משימה 3: ניתוח מידע מטבלה

אוויר נקי הוא למעשה מושג תאורטי בלבד. זהו אוויר שהרכבו מתאים למצב שבו לא היו בני אדם על פני כדור הארץ. האוויר במדבריות, בקטבים ובימות מרוחקות נחשב לקרוב ביותר למה שנחשב אוויר נקי ובלתי מזוהם.

הרכב הגזים באוויר נקי (בטרופוספירה) נתון בטבלה שלהלן. עיינו בטבלה וענו על השאלות שאחריה:

### הרכב הגזים באוויר נקי

נפח ( % )	נפח (ppm)*	נוסחה	גז
78.09	780,900	N <sub>2</sub>	חנקן
20.94	209,400	O <sub>2</sub>	חמצן
לא קבוע **	לא קבוע **	H <sub>2</sub> O	מים
0.93	9,300	Ar	ארגון
0.03	315	CO <sub>2</sub>	פחמן דו-חמצני
< 0.01	18	Ne	נאון
< 0.01	5.2	He	הליום
< 0.01	1.0-1.2	CH <sub>4</sub>	מתאן
< 0.01	1.0	Kr	קריפטון
< 0.01	0.5	NO <sub>x</sub>	תחמוצות חנקן
< 0.01	0.5	H <sub>2</sub>	מימן
< 0.01	0.08	Xe	קסנון
< 0.01	0.02		אדי חומרים אורגניים

הערות לטבלה:

\* יחידות נפח לגזים:

נהוג להתייחס לריכוזי הגזים באוויר בצורה יחסית (יחסית לאוויר). ריכוז יחסי יכול להיות:

ב- אחוזים: נפח גז ב- 100 נפחי אוויר.

לדוגמה: ריכוז החמצן הוא כ- 21%, שהם 21 נפחים של חמצן בתוך 100 נפחי אוויר.

ב- חל"מ (חלקי מיליון) או ppm=parts per million: נפח אחד של גז במיליון נפחי אוויר. מכיוון שריכוזי המזהמים נמוך ביותר, נהוג למדוד אותם ביחידות של חל"מ.

לדוגמה: ריכוז תחמוצות החנקן הוא: 0.5 חל"מ שהם 0.5 נפחי תחמוצות במיליון נפחי אוויר (למשל, 0.5 ליטר תחמוצות במיליון ליטר אוויר).

כיום מודדים מזהמי אוויר גם ביחידות של חל"ב (חלקי ביליון) או ppb=parts per billion: נפח אחד של גז בביליון נפחי אוויר.

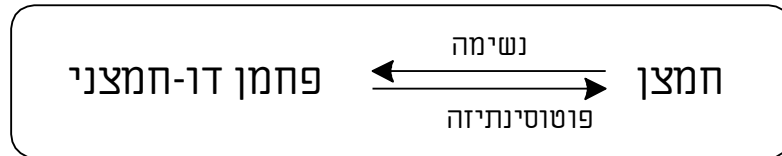
\*\* תכולת אדי המים באוויר נתונה ע"י הלחות היחסית ותלויה במזג האוויר.

1. א. מה הם המרכיבים העיקריים של האוויר? נמקו.  
ב. איזה אחוז הם מהווים, ביחד, מהאוויר?
2. מהו אחוז המזהמים באוויר? מהי מסקנתכם?
3. אוכלוסיית העולם הולכת וגדלה, ואיתה גדלה צריכת החמצן ופליטת CO<sub>2</sub>. איך תסבירו את העובדה שהרכב האוויר נשאר בכל זאת קבוע בעיקרו? להלן מידע שיכול לעזור לכם.



שמירת האיזון בטבע מוסברת על-ידי קיום שיווי משקל דינמי.

שיווי משקל דינמי מתרחש בין תהליכים הפיכים, המנוגדים אחד לשני. תהליכים אלו מתרחשים בעת ובעונה אחת ולכן שומרים על מצב של איזון. דוגמא לתהליכים הפיכים בטבע השומרים על שיווי-משקל דינמי הם תהליכי הנשימה והפוטוסינתזה, המודגמים בתרשים זה:



אוכלוסייה גדלה ← צריכת חמצן גדלה ← פליטת  $CO_2$  גדלה ← תהליך פוטוסינתזה מוגבר ← יותר חמצן נוצר והאיזון נשמר.  
האיזון יופר כאשר ריכוז ה- $CO_2$  יגדל מעבר ליכולת הגברת תהליך הפוטוסינתזה.

## מיון מזהמים

אוויר מזהם הוא אוויר המכיל תוספות מלאכותיות למרכיבי האוויר הרגילים, בכמויות העלולות לגרום נזקים או מטרדים לאדם, לחי ולצומח.

מזהמי האוויר מופיעים כחלקיקים מוצקים, כטיפות, כגזים או כתערובות של צורות אלו. המזהמים העיקריים הם חלקיקי אבק ועשן, אדים וגזים שונים כגון  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $H_2S$ .

ניתן למיין את המזהמים בצורות שונות. לפניכם שתי דרכים למיון.

### דרך אחת למיון:

מזהמים מעשה ידי אדם (מלאכותיים) המופיעים גם בטבע

דוגמאות למזהמים כאלו הם פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ) המופיע בטבע אך כמותו גדלה עקב פעילות האדם (בשריפת דלקים), דו-תחמוצת הגופרית ( $SO_2$ ) ומתכות כבדות כגון כספית, עופרת ועוד.

מזהמים מלאכותיים שאינם מופיעים בטבע

המזהמים הללו הם חומרים שהאדם יצר באמצעות הפיתוח הטכנולוגי והידע המדעי העומדים לרשותו. חומרים אלו אינם "מוכרים" בטבע, והם אינם משתתפים במחזורי החומרים בטבע. חומרים אורגניים טבעיים עוברים תהליכים של פירוק טבעי. חומרים מלאכותיים אינם עוברים תהליכי פירוק בטבע, הם מצטברים והופכים למזהמים (או שהם מתפרקים ותוצרי הפירוק הם רעילים ומזהמים). חומרים כאלו הם: חומרי הדברה, חומרי ניקוי (דטרגנטים), תרכובות אורגניות שונות ומוצרי פלסטיק.

**דרך שנייה למיון:****מזהמים ראשוניים**

חומרים אלו נפלטים ישירות לאטמוספירה ממקורות מעשה ידי אדם, כגון שרפת דלק לסוגיו ותהליכי ייצור תעשייתיים.

להלן כמה דוגמאות של תרכובות מסוג זה:

♦ חומרים שמקורם בתהליכי שרפה: חנקן חד חמצני (NO); גופרית דו-חמצנית ( $\text{SO}_2$ ); פחמן חד-חמצני (CO); פחמן דו-חמצני ( $\text{CO}_2$ ).

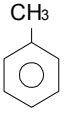
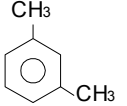
♦ חומרים שמקורם בתהליכים תעשייתיים: מימן פלואורי (HF); מימן כלורי (HCl); אמוניה ( $\text{NH}_3$ ); מימן גפרי ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

♦ תוצרי זיקוק נפט המתאדים לאוויר: פרפינים, אולפינים וחומרים ארומטיים (נגזרות של בנזן).

**מזהמים משניים**

חומרים אלו נוצרים באטמוספירה מתגובות בין מזהמים ראשוניים, עם או בלי קרינת השמש. תהליכים אלו מושפעים מפיזור חלקיקים באוויר, מטופוגרפיה מקומית, מלחות יחסית, מתנאים אקלימיים מסוימים ועוד. כתוצאה מתהליכים אלו נוצרים ערפיח (smog) ואובך הגורמים לפגיעה בעיניים ולעוד נזקים רבים לאדם, לבעלי-חיים ולצמחים.

בטבלה הבאה מוצגות דוגמאות לתרכובות מזהמות הנפלטות לאוויר ממקורות שונים:

דוגמאות	סוג התרכובת
מתאן $\text{CH}_4$ אתאן $\text{C}_2\text{H}_6$	אלקאנים
אתן $\text{C}_2\text{H}_4$ פרופן $\text{C}_3\text{H}_6$ טרנס 2 - בוטן $\text{C}_4\text{H}_8$	אלקנים
אצטילן $\text{C}_2\text{H}_2$	אלקינים
טולואן 	נגזרות של בנזן
m - קסילן 	נגזרות של בנזן
תחמוצות - $\text{N}_2\text{O}_5, \text{N}_2\text{O}_3, \text{NO}_2, \text{NO}$ חומצות - $\text{HNO}_3, \text{HNO}_2$ מלחים - $\text{NH}_4\text{NO}_3$	תרכובות של חנקן

דוגמאות	סוג התרכובת
חמצן אטומרי O מימן אטומרי H הידרוקסיל OH מימן פרוקסיל HO <sub>2</sub> אציל RCO (acyl) אציל פרוקסיל RCOO <sub>2</sub>	רדיקלים חופשיים
פורמאלדהיד HCHO אצטאלדהיד CH <sub>3</sub> CHO	אלדהידים
חומצה פורמית HCOOH חומצה אצטית CH <sub>3</sub> COOH	חומצות אורגניות
מתאנול CH <sub>3</sub> OH	כוהלים
תחמוצות - SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> חומצות - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> מלחים - NH <sub>4</sub> HSO <sub>4</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	תרכובות של גפרית
פרוקסיל ניטרט CH <sub>3</sub> COO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> אוזון O <sub>3</sub>	חומרים מחמצנים

#### משימה 4: ניתוח מידע

1. בהתייחס למזהמים מעשה ידי אדם - כיצד תסבירו את הכפילות הנובעת מכך שהחומרים הללו חיוניים לחיים וקיימים בטבע מחד, אך נחשבים גם כמזהמים מאידך?
2. כדי למנוע נזקים ממזהמים משניים, עלינו להקטין ככל האפשר את כמות המזהמים הראשוניים. הסבירו מדוע.

#### משימה 5: חקר אירוע

לפניכם קטע מעובד ממאמר. קראו אותו והדגישו משפטים חשובים.

#### תנו לנשום אוויר נקי

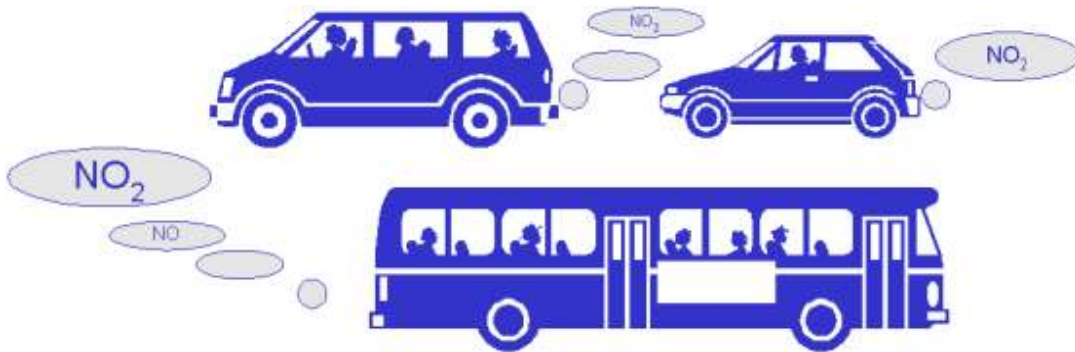
בעשורים האחרונים איכות האוויר בישראל, כמו גם במקומות רבים בעולם, הולכת ויורדת. ירידה זו נובעת מהעלייה המתמדת ברמת החיים, המביאה להגדלה ניכרת בפליטת מזהמי אוויר לאטמוספירה בשל פעולות מעשה ידי אדם כגון הפקת אנרגיה, תחבורה ותעשייה. מזהמי האוויר גורמים לנזקים בריאותיים לאדם, לפגיעה כלכלית כגון ירידה ביבול חקלאי ונזק למבנים, לתשתיות ולמפגעים אסתטיים שונים. ההרכב והריכוזים של מזהמי אוויר שונים ממקום למקום, ומושפעים מגורמים רבים: אופי התעשייה, סוג התחבורה, עונות השנה ועוד. כדי לאפיין בעיות של זיהום אוויר באזור מסוים, יש להכיר את התנאים הייחודיים של האזור.

האוויר במדינת ישראל מנוטר ברציפות באמצעות תחנות ניטור הפזורות ברחבי הארץ. המשרד לאיכות הסביבה מפרסם, כל שנה, החל משנת 1997, דוח שנתי המבוסס על כל נתוני הניטור שהתקבלו בארץ. דוחות אלו מעידים על חריגות תמידיות מתקני איכות האוויר לגבי מזהמים שונים. בעיות איכות האוויר בארץ הן לרוב קשות יותר מאשר במרבית המדינות המערביות המתקדמות, ולכך שתי סיבות עיקריות.

מעובד לפי א. ונגר, "על אוויר ועל ערפיח"  
גלילאו, גיליון 98, 2006.

1. חברו שתי שאלות על הקטע שקראתם. האחת - שאלה שאת התשובה עליה ניתן למצוא בקטע, והשנייה - שאלה המעוררת מחשבה ודיון בעקבות הקריאה.
2. בקטע מוזכר כי הפקת אנרגיה מגדילה את פליטת מזהמי האוויר לאטמוספירה.
  - א. מדוע לדעתכם?
  - ב. האם יש אפשרות לייצר אנרגיה ללא זיהום האוויר? הסבירו.
3. מה הן ההשלכות של חריגות מתקני איכות האוויר בארץ עבורכם, תושבי ישראל?
4. בסיום הקטע מוזכר כי בעיות איכות האוויר בארץ הן לרוב קשות יותר מאשר במרבית המדינות המתקדמות במערב.
  - א. אחת הסיבות קשורה לכך שבישראל מתקיימת פעילות כלכלית ברמה של מדינה מפותחת, אך צפיפות האוכלוסיה היא מהגבוהות בעולם. הסבירו סיבה זו, ואת הקשר שלה לבעיית איכות האוויר.
  - ב. סיבה נוספת קשורה לתנאי מזג האוויר בארץ. נסו להסביר זאת.

## תחמוצות חנקן



## ערפיח פוטוכימי

### משימה 1: חקר אירוע

הקטע שלפניכם עוסק בבעיה חמורה הקשורה בזיהום אוויר. קראו אותו בעיון, והדגישו בקו מילים או משפטים הקשורים, לדעתכם, לאיכות האוויר.

### בעיית הערפיח הפוטוכימי

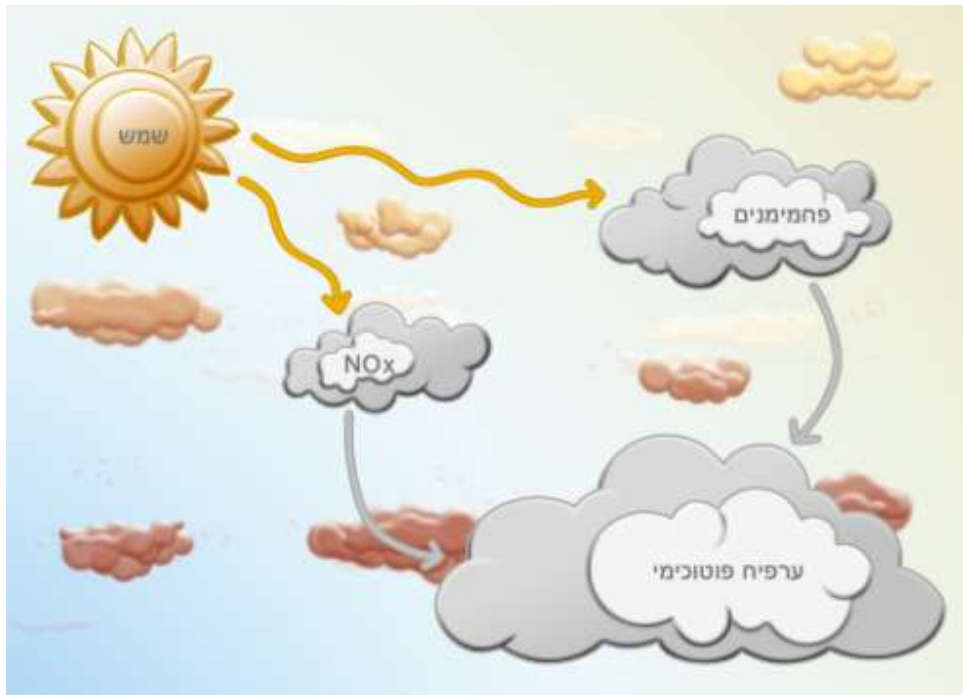
הכינוי **ערפיח (ערפל+פיח) פוטוכימי** מתאר תגובות כימיות המתרחשות באמצעות אנרגיית השמש. סוג זה של זיהום התגלה לראשונה בעיר לוס-אנג'לס שבקליפורניה. עד לשנות הארבעים של המאה הקודמת לא הייתה בעיית זיהום אוויר בלוס-אנג'לס. ואולם, אז חל בה גידול עצום באוכלוסייה ובתעשייה. האוויר הנקי והנעים הפך לאובך חום מלווה בעשן ובריחות בלתי נעימים. מחקרים הראו שקרינת השמש גורמת לסדרת תגובות בין מזהמי האוויר השונים. לוס-אנג'לס השוכנת בעמק, הפכה מלכודת למזהמים. צפיפות האוכלוסין הגבוהה, והתנועה הצפופה של כלי הרכב גרמו פעמים אחדות להתרחשות אירועים חמורים של זיהום אוויר. אחד האירועים החמורים אירע ביוני 1979. בשעות הצהריים נוצר אובך כבד ביותר, והראות הייתה לקויה. העיר נסגרה ל חמישה ימים. שדה התעופה נסגר, בתי הספר ומקומות עבודה רבים נסגרו גם כן. אובחנו מקרים רבים של פגיעה בעיניים, בגרון ובדרכי הנשימה. נזק רב נגרם גם ליבולים.

1. הסבירו בקצרה את הבעיה שהוצגה בקטע שקראתם.
2. בקליפורניה שורר מזג אוויר דומה לזה שבארץ, וברוב השנה יש ימים שטופי שמש.
  - א. האם גם בישראל תצפו להיווצרות ערפיח פוטוכימי? הסבירו.
  - ב. באיזה מהאזורים שלהלן ניתן לצפות היווצרות ערפיח פוטוכימי?  
בעיירות בנגב / במצפים בגליל / בערים ראשיות / בקיבוצים במרכז הארץ. נמקו.
3. א. חברו שתי שאלות (לפחות) על הקטע שקראתם. חשבו על שאלה אחת (לפחות) שאת התשובה לה ניתן למצוא בקטע עצמו, ועל שאלה אחת (לפחות) שמעוררת דיון ומחשבה בעקבות קריאת הקטע.
  - ב. נסו לענות על השאלות. אם אינכם יודעים את התשובה, באילו מקורות או באילו מומחים ניתן להיעזר?

## היווצרות הערפיח הפוטוכימי

תחמוצות החנקן אינן חלק ממרכיבי הדלק. הן תוצרים של תגובה כימית בין החמצן והחנקן שבאוויר. בזמן שרפת הדלק במכונות ובתחנות כוח, עקב הטמפרטורות הגבוהות הנוצרות ( $1600^{\circ}\text{C} - 3000^{\circ}\text{C}$ ), מגיבים החנקן והחמצן ליצירת התחמוצות NO ו-NO<sub>2</sub> (ובצורה כללית: NO<sub>x</sub>). בזמן שרפת הדלק נוצרים גם פחמימנים (תרכובות של פחמן ומימן) בעיקר, עקב שרפה לא מלאה של הדלק. בהשפעת קרינת השמש מתרחשות תגובות בין הפחמימנים ותחמוצות החנקן ונוצר הערפיח הפוטוכימי. **הערפיח הפוטוכימי הוא תערובת של חומרים מחמצנים רבים, שהמרכיב העיקרי בהם הוא האוזון (O<sub>3</sub>).** ניתן לייצג את היווצרות הערפיח הפוטוכימי בתרשים שלהלן:

### היווצרות הערפיח הפוטוכימי



**שימו לב -** האוזון הוא אחד ממרכיבי הערפיח הפוטוכימי.

## משימה 2: ניתוח מידע

1. השלימו את הסכמה הבאה אודות היווצרות הערפיח הפוטוכימי ומרכיביו:

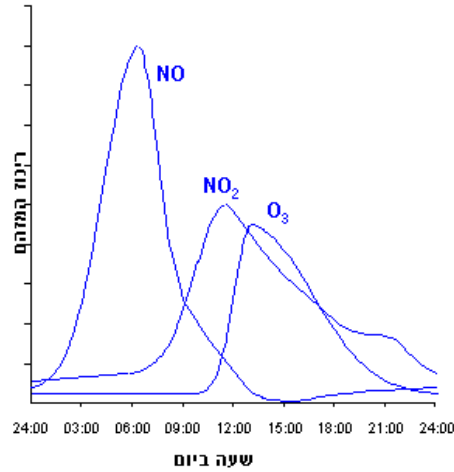


2. בערים הגדולות שורר ערפיח פוטוכימי כבד בשעות הצהריים. בשעות אחר הצהריים הוא פוחת, ובשעות הערב הוא נמוג. כיצד תסבירו זאת?
3. אם בשעות הערב תהיה תנועה ערה במיוחד של כלי רכב, האם יש סכנה להיווצרות ערפיח פוטוכימי? נמקו.

## משימה 3: ניתוח גרף

לפניכם גרף המתאר את ריכוז המזהמים  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  בבדיקות שנערכו בלוס-אנג'לס, בתקופות של היווצרות הערפיח הפוטוכימי המתואר במשימה 1.

ריכוזי מזהמים בזמן היווצרות ערפיח פוטוכימי



1. עיינו בגרפים ומלאו את הטבלה תוך שימוש במונחים: גבוה, בינוני נמוך

ריכוז $\text{O}_3$ - אוזון	ריכוז $\text{NO}_2$	ריכוז $\text{NO}$	הזמן ביום
			מוקדם בבוקר (6:00)
			לפני הצהריים



ריכוז $O_3$ - אוזון	ריכוז $NO_2$	ריכוז NO	הזמן ביום
			(11:00)
			בצהרים (14:00)
			בערב (18:00)

2. לפי צורת הגרף והנתונים בטבלה תארו אילו שינויים חלים :

א. בריכוז ה- NO במשך שעות היום.

ב. בריכוז ה-  $NO_2$  במשך שעות היום.

ג. בריכוז ה-  $O_3$  (אוזון) במשך שעות היום.

3. הגזים NO ו-  $NO_2$  נוצרים בזמן שרפת דלק בכלי רכב. עובדה זו באה לביטוי בגרפים של מזהמים

אלו, כיצד? (רמז: שימו לב לשעות שבהן ריכוז המזהמים הללו גבוה ביום).

4. האוזון נוצר עקב תגובה פוטוכימית בין מזהמים ( $NO$ ,  $NO_2$  ופחמימנים) וקרינת השמש.

א. היכן עובדה זו באה לביטוי בגרף האוזון?

ב. הסבירו מדוע האוזון נוצר דווקא בשעות הצהריים.

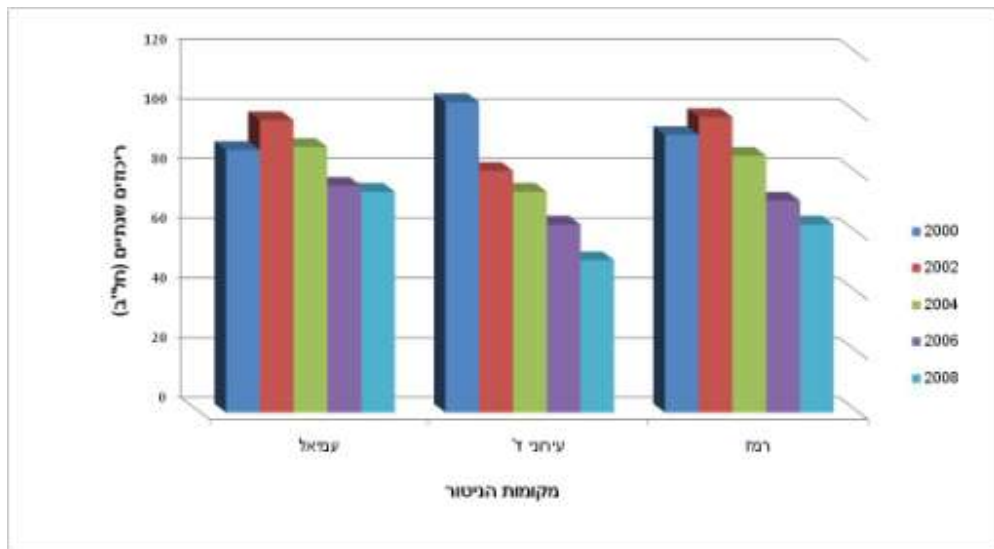
## זיהום מתחמוצות חנקן בארץ

בדוחות השנתיים של איכות האוויר שמפרסם המשרד לאיכות הסביבה בארץ, עולה כי קיימות חריגות רבות מתקני איכות האוויר במקומות שונים בארץ. התקן הישראלי לתחמוצות חנקן ( $NO_x$ ) הוא 500 חל"מ לממוצע של 30 דקות. במדידות של תחנות ניטור בערים הגדולות בארץ, נמצא כי הריכוזים השנתיים הגבוהים של תחמוצות החנקן נרשמים בתחנות הממוקמות בגובה הכביש. עם זאת, גם בתחנות הכלליות – התחנות הגבוהות בערים הסואנות של גוש דן, בירושלים, באשדוד, בנתניה ובעוד מקומות – נמדדים ריכוזים גבוהים. בכל תחנות הניטור התחבורתיות הממוקמות בגובה הכביש נרשמה חריגה שנתית מהתקן השנתי של ארגון הבריאות העולמי. בתחנות הכלליות – התחנות הגבוהות – הריכוז השנתי של דו-תחמוצת החנקן הוא 95% מהתקן השנתי של ארגון הבריאות העולמי בגוש דן (ממוצע איזורי), בירושלים כ- 90%, באשדוד 71% (ממוצע איזורי) וכך גם ברחובות. משמעות הדבר היא שבאזורים שהוזכרו, האנשים חשופים לפרקי זמן ארוכים למזהם הזה. חשיפה ארוכה זו מגבירה את הסיכון לחלות במחלות נשימתיות, עקב היחלשות מערכות ההגנה של דרכי הנשימה כנגד זיהומים נשימתיים חידקיים ונגיפיים, בעיקר בקרב אוכלוסיות הנמצאות בסיכון (ילדים, קשישים, חולים שסובלים מקצרת (אסתמטה) וכדומה).

### משימה 4: ניתוח גרף והסקת מסקנות

1. בהתייחס למידע בעניין זיהום אוויר מתחמוצות חנקן בארץ, הסבירו:
  - א. מדוע בתחנות הניטור הנמצאות בגובה הכביש נמדדים ריכוזים גבוהים יותר של תחמוצות חנקן לעומת התחנות הנמצאות בגובה רב יותר.
  - ב. מדוע חשוב לנטר את ריכוזי תחמוצות החנקן גם בגבהים מעל הכביש.
2. לפניכם גרף המתאר את הממוצעים השנתיים של תחמוצות חנקן בגוש דן בשנים 2000-2008 מתוך דוח ניטור איכות האוויר בישראל 2008 של המשרד להגנת הסביבה:

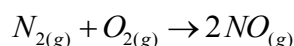
[http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/P0531\\_1.pdf](http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/P0531_1.pdf)



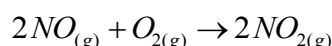
- א. מהי המגמה המסתמנת במהלך השנים בנוגע לריכוזי תחמוצות החנקן במקומות שונים בגוש דן?
- ב. הציעו הסברים אפשריים למגמה זו.
- ג. האם לדעתכם תמשיך מגמה זו גם בשנים הבאות? נמקו.

## היווצרות תחמוצות הנקן ותכונותיהן

החנקן מהווה כ- 78% מנפח האוויר. כדי שהחנקן יגיב עם החמצן שבאוויר, דרושה רמה גבוהה של אנרגיה. כך למשל, בעת היווצרות הברק (שהוא מקור טבעי לאנרגיה גבוהה) מתרחשת התגובה הבאה לקבלת התחמוצת NO:



החנקן החד-חמצני (NO) ממשיך להגיב עם החמצן, ויוצר את התחמוצת NO<sub>2</sub> (חנקן דו-חמצני) לפי ניסוח התהליך הזה:



חנקן חד-חמצני (NO) הוא גז חסר צבע וריח, אינו מסיס במים, ויחסית למזהמים אחרים הוא אינו מזיק. חנקן דו-חמצני הוא גז בעל צבע חום-אדמדם וריח חריף; הוא מסיס במים ורעיל. כאשר נושמים אותו, הוא מתמוסס במהירות בנאדיות הריאות, ויוצר חומצות בדופן הרירית של הריאה. NO<sub>2</sub> בריכוזים גבוהים יכול לחדור למערכת הדם ולהתחבר להמוגלובין, וכך למנוע אספקת חמצן סדירה לגוף. תחמוצות הנקן (אשר נהוג לסמנן NO<sub>x</sub>) גורמות להיווצרות הערפיח הפוטוכימי וכן לדהיית בדים, לפגיעה ביבול ובמבנים, ובמקומות אחדים הן גם גורמות ליצירת גשם חומצי.

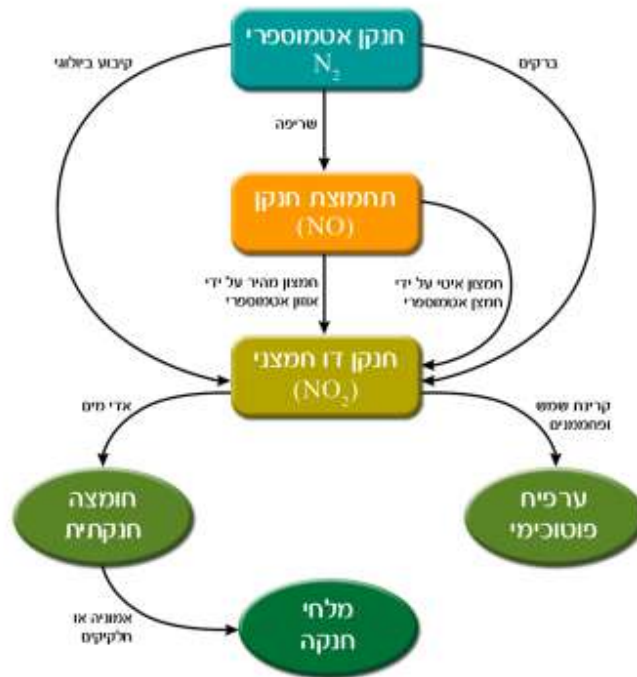
## משימה 5: ניתוח וארגון מידע

1. סכמו בטבלה את תכונותיהן של תחמוצות הנקן:

חנקן דו-חמצני (NO <sub>2</sub> )	חנקן חד-חמצני (NO)	
		צבע
		ריח
		היווצרות
		נזקים

2. תחמוצות הנקן נוצרות בטבע בצורה טבעית על-ידי פעילות ביולוגית של חיידקים, תהליכי של שרפה טבעית ופעילות של ברקים. זמן שהותן באטמוספירה הוא כ-3-4 ימים עד לפיזורן או להפיכתן לתרכובות אחרות. האיזון הטבעי הזה הופר עקב כמויות גדולות של תחמוצות הנקן מכלי רכב. התרשים להלן מתאר היווצרות ופיזור NO<sub>2</sub> באטמוספירה.

## היווצרות ופיזור $\text{NO}_2$ באטמוספירה



סכמו בטבלה את הדרכים להיווצרות ולפיזור  $\text{NO}_2$  באטמוספירה:

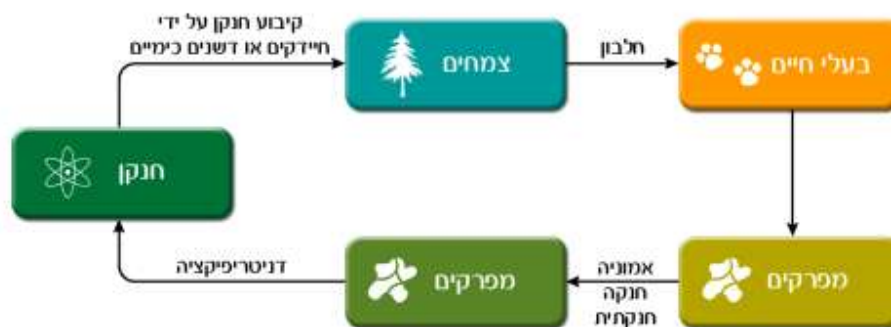
$\text{NO}_2$ לפיזור	דרכים להיווצרות $\text{NO}_2$

## מחזור החנקן בטבע

החנקן דרוש ליצירת החלבון בחי ובצומח. הוא מצוי באטמוספירה (כ-  $\text{N}_2$ ) והוא כ- 78% מנפחה. רוב היצורים החיים נושמים את החנקן שבאוויר, ופולטים אותו חזרה כמות שהוא. הצמחים יכולים לקלוט חנקן רק בצורת תרכובת של מלח מהקרקע (חנקה  $\text{NO}_3^-$ ). תהליך ההמרה של חנקן לחנקה מכונה **קיבוע חנקן**. הקיבוע יכול להתרחש עקב פעולה כימית (ברקים) או ביולוגית (חיידקים). הצמחים משתמשים בחנקות ליצירת החלבון הצמחי. בעלי חיים ובני-אדם (צרכנים) אוכלי הצמחים, הופכים חלבון זה לחלבון מן החי. המפרקים (מיקרואורגניזמים) צורכים את הרקמות המתות של החי והצומח כמזון, ומפרקים את החלבון לאמוניה ( $\text{NH}_3$ ),

לחנקית ( $NO_2^-$ ) ולחנקה ( $NO_3^-$ ). מפרקים אחרים הופכים חלק מהאמוניה, החנקית והחנקה לחנקן בתהליך הנקרא: **דניטריפיקציה**. בצורה כזו החנקן חוזר לאטמוספירה. תהליכים אלו הם מעגל החזור על עצמו במחזוריות, תוך שמירת האיזון ושיווי המשקל בין המרכיבים השונים במעגל. התרשים שלהלן מתאר את מחזור החנקן בטבע:

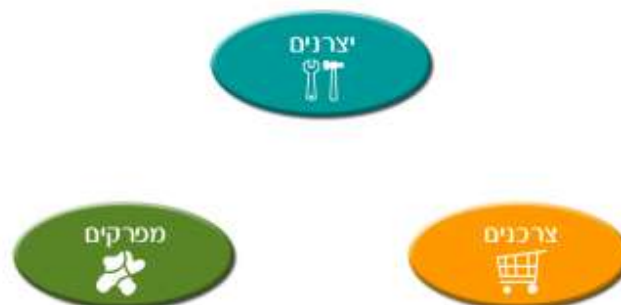
### מחזור החנקן בטבע



מחזור החנקן בטבע הוא אחד ממחזורי החומרים בטבע (מחזור הפחמן, החמצן, הגפרית ועוד), והוא **מערכת אקולוגית**. במערכת כזו ישנם שלושה מרכיבים עיקריים: יצרנים (הצמחים יוצרי המזון), צרכנים (צורכי המזון), ומפרקים (מיקרואורגניזמים) המפרקים את הרקמות המתות של היצרנים והצרכנים לתרכובות פשוטות המשמשות מזון ליצרנים.

### משימה 6: ניתוח וארגון מידע

1. זהו את שלושת המרכיבים של המערכת האקולוגית במחזור החנקן, וציינו זאת באיור של מחזור החנקן בטבע (אפשר להיעזר בצבעים שונים).
2. לפניכם תרשים כללי של מערכת אקולוגית. נהוג, בתרשים כזה, לציין בחצים את כיוון המעבר של החומרים האורגניים. הוסיפו את החצים בכיוונים הנכונים במערכת והסבירו.



3. כמותן של תחמוצות החנקן בטבע עלתה בצורה ניכרת עקב פעילות האדם. הדבר מפר את האיזון הטבעי הקיים במחזור החנקן בטבע. הסבירו כיצד. (רמז: עיינו שוב בתהליך קבלת התחמוצות כתוצאה מפעילות האדם).

4. לפניכם כותרת של מאמר שהתפרסם לפני שנים אחדות<sup>1</sup>: "תחמוצות החנקן - קשה איתן, אי-אפשר בלעדיהן". הכותרת מתייחסת לכך "שאנחנו זקוקים לתחמוצות חנקן ותלויים בהן. קצב הגידול של המין האנושי תלוי בכמות החנקן הזמינה לצמחים בקרקע. אך בה בעת, התוספת המסיבית של תחמוצות חנקן לקרקע, למים ולאוויר, גורמת להשפעות הרסניות, הנעות בחומרתן ובהיקפן מבעיות בריאות מקומיות ועד למפגעים גלובליים".  
הסבירו במילים שלכם את ההיבטים הללו של תחמוצות החנקן.

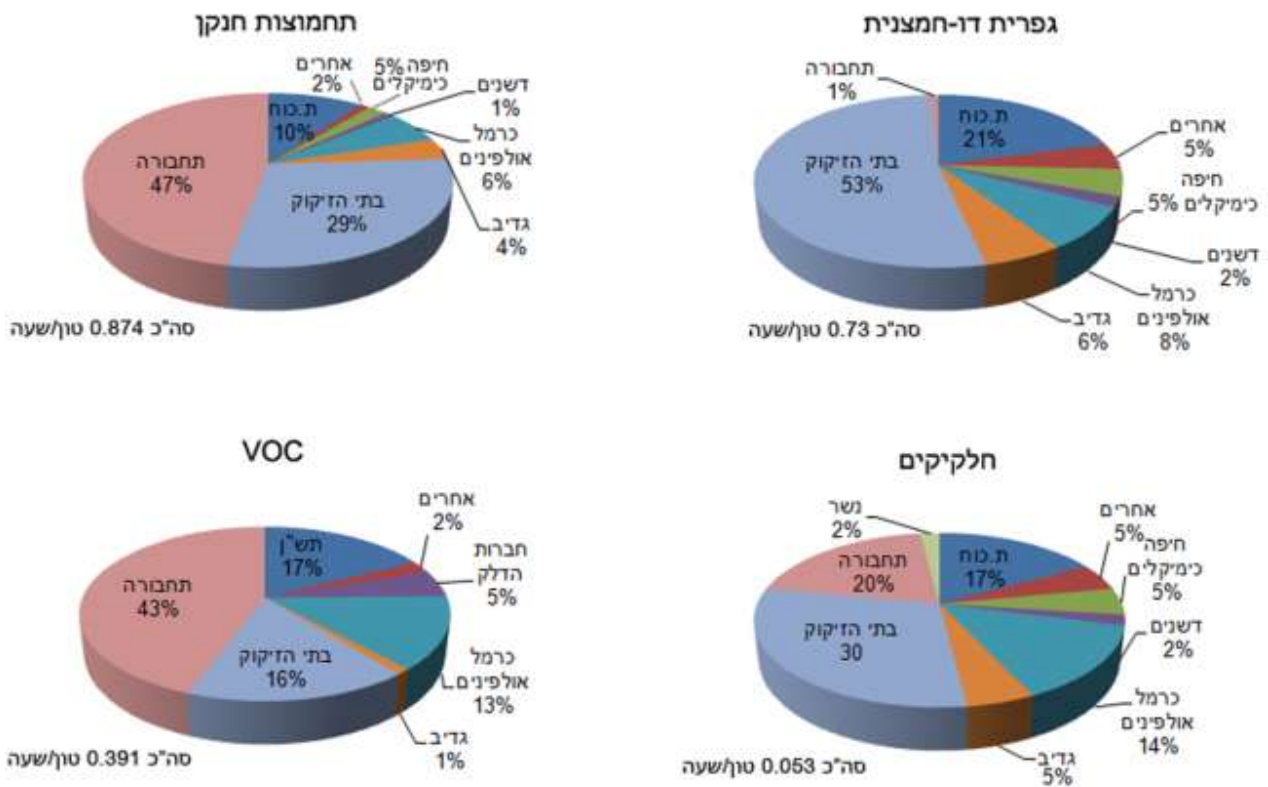
---

<sup>1</sup> <http://telem.openu.ac.il/courses/c20237/nitrogen-y.htm>

## המכוננית - מזהם על גלגלים?

שרפת הדלק בכלי רכב גורמת לפליטת מזהמים רבים. לפניכם ארבעה גרפים המתארים את התפלגות הגורמים למזהמי האוויר העיקריים בחיפה<sup>2</sup>.

### מקורות של מזהמי אוויר עיקריים בחיפה



#### הערות:

- המונח Volatile Organic Compound - VOC מתייחס לתרכובות אורגניות נדיפות הנפלטות מתעשיות שונות
- תש"ן - תשתיות נפט ואנרגיה בע"מ (חברת התשתיות הלאומית של משק האנרגיה בישראל)

## משימה 7: ניתוח גרפים וטבלאות והסקת מסקנות

1. בהתייחס לגרפים המתארים את מקורות מזהמי האוויר העיקריים בחיפה, מצאו עבור כל מזהם את אחוז הזיהום הנגרם מכלי רכב (תחבורה) ומלאו את הטבלה שלפניכם:

הזיהום	שיעור הזיהום הנוצר מכלי רכב באחוזים
תחמוצות חנקן ( $\text{NO}_x$ )	
תחמוצות גפרית ( $\text{SO}_x$ )	
חלקיקים	
תרכובות אורגניות נדיפות VOC	

2. לאילו שלושה זיהומים עיקריים גורמים כלי הרכב?
3. בחיפה, מעבר לתחבורה צפופה, קיימים גם מפעלי תעשייה רבים וכן בתי-זיקוק לנפט ותחנת כוח. מהו חלקם של בתי הזיקוק ותחנת הכוח בזיהום האוויר בחיפה?
4. כמות המזהמים הנפלטים מכלי רכב שונה בהתאם לסוג הדלק. לפניכם טבלה של פליטת מזהמים מכלי רכב המונעים במנוע בנזין (כלי רכב פרטיים), וכלי רכב המונעים במנוע דיזל (משאיות ואוטובוסים). הכמויות בטבלה הן בק"ג לטון דלק נשרף.

### פליטת מזהמים מרכב מנועי

המזהם	מנוע בנזין	מנוע דיזל *
פחמימנים ( $\text{C}_x\text{H}_y$ )	32.6	19.5
תחמוצות חנקן ( $\text{NO}_x$ )	18.4	31.8
חלקיקים (עשן בעיקר)	1.7	15.8
אחרים	2.8	11.5
<b>סך הכל</b>		

\* במנוע דיזל הדלק הוא סולר.

- א. באיזה מזהם קיים השוני הגדול ביותר בין שני סוגי המנועים? נמקו.
- ב. חשבו את סך כל הזיהום הנפלט ממנוע בנזין וממנוע דיזל ורשמו בטבלה. מהי המסקנה העולה מהנתונים?
- ג. האם כדאי לדעתכם להרחיב את השימוש במנוע דיזל בערים הגדולות? נמקו.
5. קצב יצירת תחמוצות החנקן במנועי כלי הרכב אינו אחיד. הוא תלוי בגודל המנוע, בתנאי הבערה ובתנאי הנסיעה. ניתן לראות זאת בטבלה שלהלן:



## פליטת תחמוצות החנקן בתנאי נסיעה שונים

ריכוז תחמוצות החנקן בצינור המפלט * (ppm)	אופן פעולת המנוע
30	הילוך סרק (נייטרלי)
1,057	נסיעה במהירות 50 קמ"ש
1,450	נסיעה במהירות 80 קמ"ש
60	עצירה ממהירות 80 קמ"ש

\* הנתונים הם בנוגע למכונית בעלת נפח מנוע 2000 סמ"ק.

- א. מדוע לדעתכם פליטת תחמוצות החנקן גדלה כאשר מהירות כלי הרכב גדלה?
- ב. האם גם פליטת מזהמים אחרים, כמו תחמוצות גפרית ופחמימנים, תגדל ככל שתגבר מהירות כלי הרכב?
- ג. ככל שהרכב גדול יותר (נפח מנוע גדול), צריכת הדלק גדולה יותר, ולכן כמות המזהמים גדלה. האם ניתן להגביל תנועת כלי רכב בעלי נפח מנוע גדול (משאיות) בעיר? האם יהיה זה פתרון יעיל לבעיית זיהום האוויר בערים הגדולות?
- ערכו דיון קצר בנושא והציגו טיעונים שונים לבעיה (התייחסו בין היתר לתפקיד המשאיות בעיר, לעובדה שמנוען הוא מנוע דיזל וליעילות אכיפת איסור הכניסה לעיר).

6. צפיפות כלי הרכב בכבישים מחושבת לפי מספר כלי הרכב לק"מ כביש. לפניכם נתונים של קטלוג הבנק העולמי<sup>3</sup> המתייחסים למספר מדינות:

מדינה	שנת 2003	שנת 2005	שנת 2008
ישראל	110	115	126
ארה"ב	36	31	38
אנגליה	75	80	77
ירדן	72	83	110
הונג-קונג	252	246	248

- א. הונג-קונג היא המדינה שצפיפות כלי הרכב בה היא הגבוהה בעולם. אך גם בישראל צפיפות כלי הרכב גבוהה ביותר יחסית למדינות אחרות במערב. מהי המגמה הכללית בנוגע לצפיפות כלי הרכב בעשור האחרון? האם היא זהה במדינות שונות?
- ב. כיצד לדעתכם משפיעה הצפיפות הגבוהה
- על צריכת הדלק?
  - על שיעור פליטת תחמוצות חנקן?

<sup>3</sup> <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>

- שיעור פליטת תחמוצות הגפרית?
- שיעור פליטת פחמימנים ו-CO? (CO נפלט בזמן שרפה לא מושלמת של דלק)

### משימה 8: העלאת טיעונים בעד ונגד

נשכרתם על-ידי משרד התחבורה להציע פתרונות לבעיית הזיהום מכלי רכב, בשביל למנוע היווצרות ערפיח פוטוכימי.

מומחים אחדים הציעו לכם פתרון:

כיוון שהפחמימנים והפחמן החד-חמצני הם תוצרים של שריפת דלק בלתי מושלמת, יש לשפר את השרפה כך שתהייה מלאה. שרפה מלאה תפתור גם את בעיית תחמוצות החנקן (ולכן גם את בעיית הערפיח).

ערכו דיון קצר והתייחסו לפתרון המוצע בהיבטים האלה:

- באיזו מידה הוא מקטין את בעיית הזיהום מכלי רכב.
- האם הוא פותר את בעיית תחמוצות החנקן.
- האם הוא ימנע את היווצרות הערפיח הפוטוכימי.
- נסו להציע פתרונות משלכם, ונמקו !

## הממיר הקטליטי - צעד קטן לנהג, צעד גדול לסביבה

הממיר הקטליטי הנו מתקן קטן הממוקם על צינור הפליטה של הרכב ומשמש כ"משרפה" קטנה. תפקידו להשלים את שרפת גזי הפליטה. משמעות המילה "קטליטי" היא זרז. הממיר מזרז את תהליך התמצון של הגזים CO ופחמימנים לקבלת CO<sub>2</sub> ומים. הוא מזרז גם את תהליך החיזור של תחמוצות החנקן NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>) לקבלת חנקן N<sub>2</sub>. כך, גזים מזהמים (CO, NO<sub>x</sub> ופחמימנים) הופכים לגזים לא מזהמים המצויים באטמוספירה. תהליכים אלו מתרחשים על פני השטח של חומר קטליטי (לרוב, מתכות אצילות כמו פלטינה) שאינו עובר שינוי בעצמו, ולכן אפשר להשתמש בו זמן רב. החומרים הקטליטיים מפוזרים בשכבה דקה על גוף נושא קרמי, המחולק לתאים רבים. כך מתקבל שטח מגע גדול עם הגזים העוברים דרכו. איור זה מתאר מבנה של ממיר קטליטי.

### מבנה ממיר קטליטי



משנת 1994, כל כלי הרכב הפרטיים בישראל המונעים בבנזין חייבים בממיר קטליטי. הממיר הקטליטי המותקן ברכבי בנזין אינו יעיל ברכבי דיזל.

## משימה 9: ניתוח מידע

1. מהו עיקרון פעולתו של הממיר הקטליטי וכיצד הוא מונע זיהום?
2. לפניכם מידע נוסף על הממיר הקטליטי:

יעילותו של הממיר אינה של 100%. יעילות חיזור תחמוצות החנקן היא 79%, יעילות חמצון ה-CO 84% ויעילות חמצון הפחמימנים רק 57%. הממיר מתוכנן לפעול כ- 5 שנים (או 80,000 ק"מ) ואז יש להחליפו. בכל מקרה, יש להשתמש בדלק מיוחד: דלק נטול עופרת, כי עופרת "מרעילה" את המתכת הקטליטית שבממיר, ואז הוא אינו יעיל. שימוש בדלק נטול עופרת הוא יתרון סביבתי נוסף, כיוון שעופרת היא מזהם אוויר קשה. העופרת רעילה ונמצא שהיא פוגעת בהתפתחות השכלית של ילדים.

הסבירו את יתרונות הממיר ואת מגבלותיו ממידע זה, ומהמידע הקודם.

## משימה 10: דיון קבוצתי והעלאת טיעונים בעד ונגד

לפניכם מידע שפורסם בעיתון "טיימס" ב- 2007:

מחקר בריטי טוען כי ממירים קטליטיים פוגעים בבריאותנו<sup>4</sup>. לטענת החוקרים, ממירים קטליטיים מייצרים מימן גפרי ופחמן דו-גפרי - שני חומרים רעילים, שבריכוזים גבוהים עלולים לגרום לבעיות בריאות, כמו מחלות בדרכי הנשימה, לפגיעה במערכת העצבים ואף לסרטן. לדברי החוקרים, תעשיית הרכב בחרה בממירים קטליטיים כפתרון לבעיית זיהום האוויר, בעיקר כיוון שהיו זולים יחסית לפיתוח ולייצור. הם מציינים אמצעים אחרים שהיו יכולים להקטין את זיהום הסביבה כתוצאה ממנועי בערה פנימית, אך לא נעשה בהם שימוש עקב עלותם הגבוהה. למשל, מנועים חסכוניים באמת, נקראים מנועי בערה "ענייה" ופולטים פחות מימן גפרי רעיל.

1. ציינו מהו הטיעון בעד השימוש בממירים קטליטיים ומהו הטיעון נגד השימוש בו.
2. ערכו דיון בקבוצתכם - האם אתם בעד התקנת ממירים קטליטיים או נגד? סכמו את דעותיכם, ונמקו.
3. מה, לדעתכם, צריכים מקבלי ההחלטות בארץ לעשות בעקבות המחקר שפורסם?

<sup>4</sup> <http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3389918,00.html>

## מכונית חשמלית - המהפכה מגיעה לישראל

הטכנולוגיה הבסיסית של מכוניות חשמליות היא פשוטה, ותיקה ומוכחת. זו הטכנולוגיה המשמשת אותנו במכשירים חשמליים רבים ברוב תחומי החיים. מכונית חשמלית יוצרה לראשונה ב-1838. השימוש בסוללות נטענות לכלי רכב חשמליים נחשבה שנים רבות בעייתית, עקב טעינה ממושכת ועלות יקרה. לכן, השימוש הנפוץ במכוניות אלו היה, בדרך כלל, בדגמים קטנים ובמקומות סגורים כמו מגרשי גולף ובתי חולים.

בשנים האחרונות היו כמה פריצות דרך מדעיות בתחום הסוללות החשמליות. באמצע 2009 הודיעו חברות מסחריות כגון רנו, ניסאן ופורד על התקדמות בפיתוח של מכוניות חשמליות. בעשור האחרון, החלו להימכר בישראל המכוניות ההיברידיות. במכוניות אלו מותקנים זה לצד זה שני מנועים: מנוע בנזין או דיזל בעל נפח קטן ולצדו מנוע חשמלי. בהספקים נמוכים מופעל המנוע החשמלי, ואילו בהספקים גבוהים מצטרף אוטומטית מנוע הבנזין אל המנוע החשמלי או מחליף אותו. היתרון של שיטה זו הוא חיסכון בדלק והפחתה בזיהום האוויר וברעש, באזור העירוני.

חברת ישראלית מקדמת מיזם עולמי של הקמת רשת טעינה למכוניות חשמליות. בשנת 2010 הקימה החברה בארץ את המרכז הראשון בעולם לתחבורה חשמלית, וזה מאפשר לאלפי מבקרים מישראל ומהעולם להתרשם מחוויית המכונית החשמלית, להתנסות בה ולהצטרף אל החזון.

### משימה 11: דיון קבוצתי

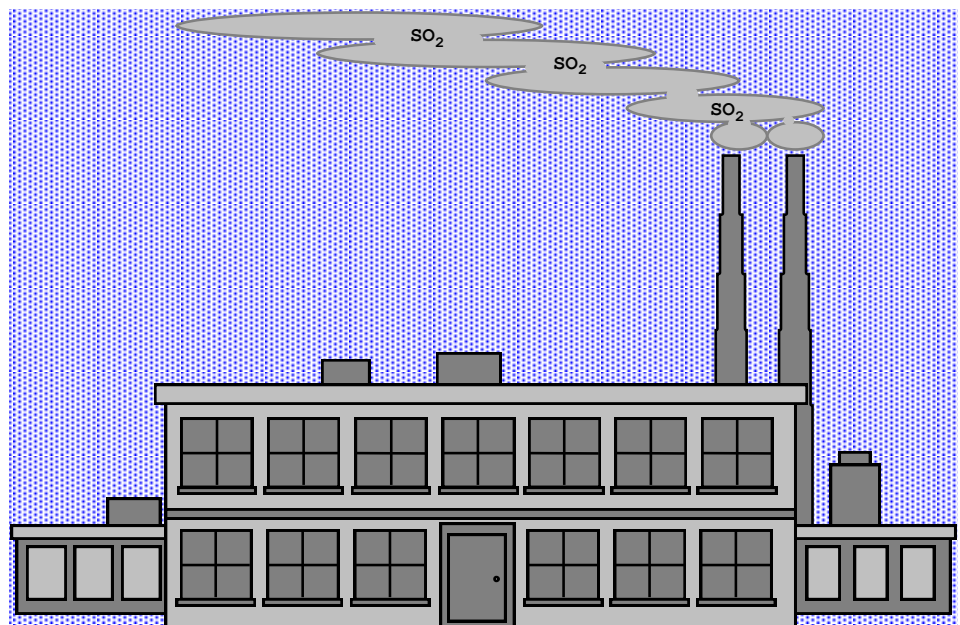
1. מהן הבעיות שמנעו בעבר את השימוש במכוניות המונעות על-ידי סוללות חשמליות?
2. המכוניות ההיברידיות הנמכרות בארץ מצטיינות בחיסכון בדלק ובהקטנה ניכרת של פליטת מזהמים לאוויר. מכוניות אלו הן יקרות יחסית לאחרות. האם תמליצו להורכם לקנות מכונית כזו? הציגו טיעונים בעד ונגד. מה אפשר לעשות בהקשר זה ברמה המדינית?
3. חפשו מידע על מיזם לייצור מכוניות חשמליות. הכינו סיכום קצר על המיזם ומה מייחד אותו.

### משימת סיכום

הכינו סיכום של הפרק באמצעות מצגת, כרזה (פוסטר) או משחק לימודי. התייחסו בעיקר לנושאים האלה:

- בעיית הערפיח הפוטוכימי והמצב בארץ.
  - זיהום מכלי רכב ופתרונות אפשריים.
- יש להוסיף מידע עדכני מעבר למידע שבפרק. מומלץ להיעזר באתר של המשרד להגנת הסביבה, באתר איגוד ערים חיפה ובאתר עמותת אדם טבע ודין.

# תחמוצות גפרית וחלקיקים



## אירוע לונדון - אירוע היסטורי חמור של זיהום אוויר

### משימה 1: חקר אירוע

הקטע שלפניכם עוסק באירוע היסטורי חמור של זיהום אוויר. קראו אותו בעיון והדגישו בקו, מילים או משפטים הקשורים לדעתכם לאיכות האוויר.

### אירוע לונדון

האירוע התרחש במשך ארבעה ימים, בין 5-9 בדצמבר 1952. בבוקר של ה-5 בדצמבר, התפתחה מעל לונדון, מערכת מטאורולוגית יציבה ביותר (אינוורסיה), כמעט ללא רוח. נוצר ערפל כבד שלא התפזר, והטמפרטורה נשארה קרובה לאפס. הראות הייתה מוגבלת ביותר (עד כדי 20 מ' בלבד באזורים מסוימים). הערפל הלך ונעשה סמיך עקב התעבות חלקיקי אבק ופיח תוך יצירת טיפות ערפל קטנות, סמיכות ואטומות. עובי שכבת הערפל היה כ-100 מטר.

ב-12 אזורים בלונדון רבתי, נעשו מדידות של חלקיקים באוויר ושל גפרית דו-חמצנית ( $SO_2$ ). נמצאה עלייה ניכרת בריכוזים אלו, עד כדי פי 5 מהריכוז הנורמלי של עשן וחלקיקים ופי 6 מהריכוז הנורמלי של  $SO_2$  (בימים 7, 8 בדצמבר). כתוצאה מהערפל הכבד, אנשים רבים סבלו מקשיי נשימה שהביאו לעתים לכדי מוות. ריכוז ה- $SO_2$  שהוא סיכון בריאותי הוא 10ppm אך הריכוז המרבי, בזמן התקרית, אף לא התקרב לריכוז זה, ולכן לא ה- $SO_2$  גרם למקרי המוות הרבים. מה שגרם לכך היה הצירוף של חלקיקי העשן והפיח עם ה- $SO_2$ . כפי הנראה, נוצרו טיפות של חומצה גפרתית ( $H_2SO_4$ ) כתוצאה מחמצון ה- $SO_2$ . מכיוון שלא נעשו מדידות מתאימות באותו זמן, הדבר נותר בגדר השערה בלבד.

1. חברו שתי שאלות (לפחות) על הקטע שקראתם. חשבו על שאלה אחת (לפחות) שאת התשובה לה ניתן למצוא בקטע עצמו ועל שאלה אחת (לפחות) שמעוררת דיון ומחשבה בעקבות קריאת הקטע.  
2. המידע בקטע כולל עובדות והשערות הקשורות באירוע לונדון. בחרו שתי עובדות בקטע ושתי השערות. נמקו את בחירתכם.

3. באילו קבוצות באוכלוסייה אירעו מקרי המוות לדעתכם? נמקו!

4. מה השתנה לדעתכם, אחרי ה-9 בדצמבר, שהביא לסיום האירוע?

5. מצב של אינוורסיה<sup>5</sup> הוא מצב מטאורולוגי המאופיין על-ידי שכבת אוויר קר בגובה נמוך ומעליה שכבה של אוויר חם. מצב זה יציב ביותר.

א. מדוע מצב זה יציב? חשבו מהי תכונתו של אוויר חם?

ב. איזה שינוי, הקשור במזג האוויר, יכול לשנות מצב זה?

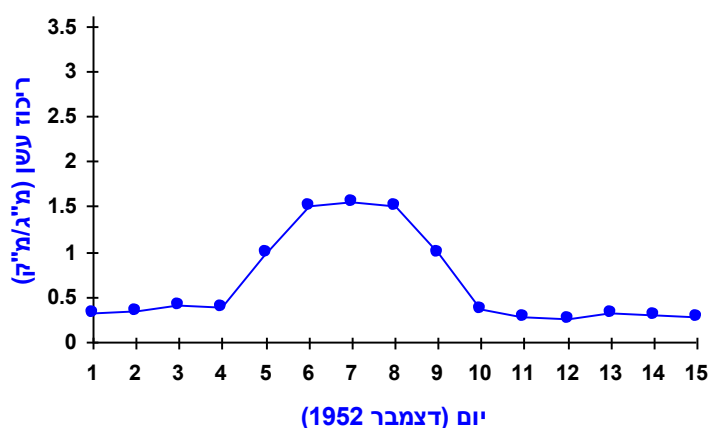
<sup>5</sup> הסבר נוסף על אינוורסיה תמצאו בפרק הסיכום.

6. יש חשיבות רבה לכך שהאירוע התרחש בחורף של שנות החמישים כאשר גם בתעשייה וגם בבתים השתמשו בפחם. נסו להסביר את הקשר לאירוע.

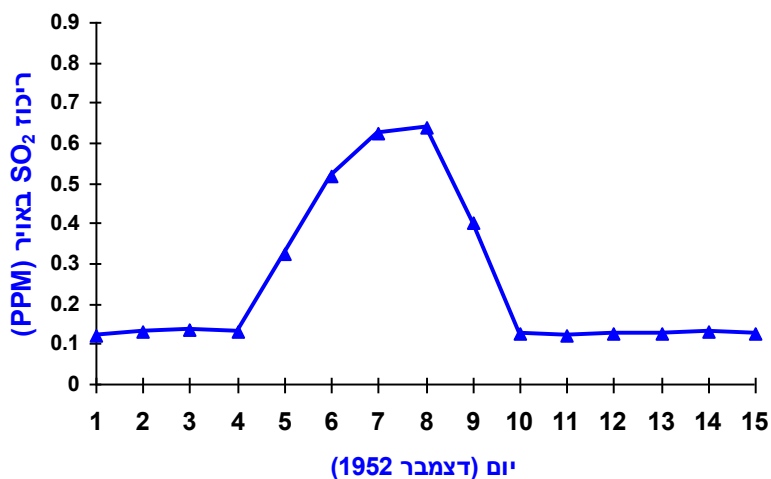
## משימה 2: ניתוח גרפים

לפניכם שלושה גרפים המתארים את ריכוזי ה- $\text{SO}_2$ , העשן ומספר מקרי המוות שאירעו בלונדון בזמן האירוע.

גרף 1: ריכוז העשן בלונדון בתקופת האירוע

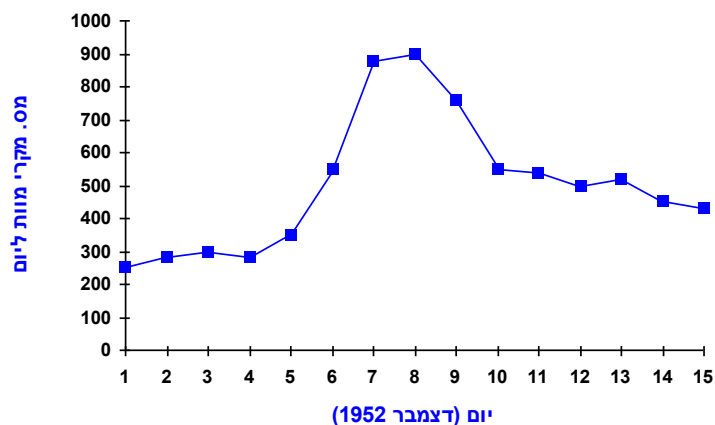


גרף 2: ריכוז ה- $\text{SO}_2$  בלונדון בתקופת האירוע





## גרף 3: מספר מקרי המוות ביום בלונדון בתקופת האירוע



1. מלאו את הטבלה הבאה לפי גרפים 1-3:

יום	ריכוז עשן (מ"ג/מ"ק)	ריכוז SO <sub>2</sub> (ppm)	מספר מקרי מוות ליום
4			
6			
8			
10			

2. על פי הנתונים בטבלה תארו אילו שינויים חלו:

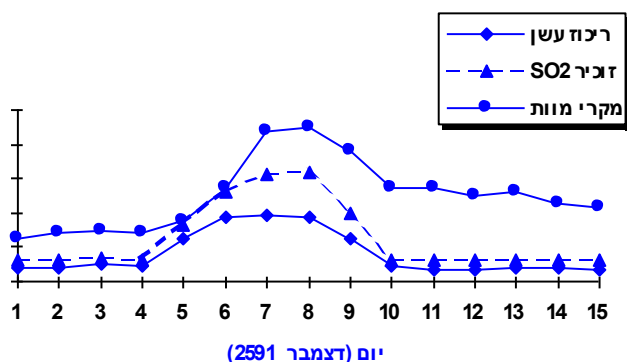
א. בריכוז העשן בתקופת האירוע?

ב. בריכוז ה-SO<sub>2</sub> בתקופת האירוע?

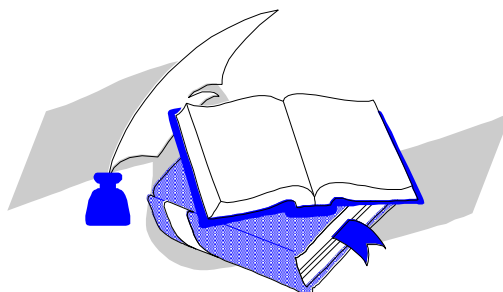
ג. במספר מקרי המוות ליום בתקופת האירוע?

3. עיינו בגרף 4 הכולל את שלושת הגרפים שעל אותה מערכת צירים. איזו מסקנה תוכלו להסיק?

גרף 4: ריכוז עשן, תחמוצות גפרית ומספר מקרי מוות ביום בלונדון בתקופת האירוע



4. מתוך גרף מס' 4 אפשר לראות, שלמרות הירידה הניכרת בריכוזי העשן וה- $SO_2$  אחרי ה- 9 בדצמבר, יש רק ירידה קלה במספר מקרי המוות. מה לדעתכם יכולה להיות הסיבה לכך?
5. נסו לאמוד (לחשב בצורה מקורבת) את סך מקרי המוות שאירעו בלונדון בימים 4-10 בדצמבר, שניתן לייחסם לאירוע. (רמז: שימו לב למוצע מקרי המוות בלונדון בדרך כלל, שלא בתקופת האירוע, וחשבו בהתאם). חוו דעתכם על כך.



### משימה 3: דיון קבוצתי

ערכו דיון בקבוצה בארבע השאלות הבאות, וסכמו את הדעות השונות שהובעו על-ידי חברי הקבוצה על הנושאים שבשאלות. הציגו זאת בפני הכיתה.

- א. האם חשוב ללמוד על אירועים היסטוריים מסוג זה? למי זה חשוב?
- ב. האם ניתן למנוע אירועים מסוג זה? באילו פעולות יש לנקוט לדעתכם, כדי למנוע או להקטין את התוצאות החמורות של אירועים מסוג זה?
- ג. האם ייתכן אירוע מסוג זה באזורים מסוימים בארץ? (התייחסו לתנאי מזג האוויר ולמקורות הזיהום בתקרית לונדון ובארץ).
- ד. ראש עיריית לונדון מינה אתכם לעמוד בראש ועדה, שתפקידה להציע פתרונות ודרכים למניעת הישנותו של אירוע מסוג זה. אילו מושגים מדעיים (כימיים, ביולוגיים, פיסיקליים וכו'), טכנולוגיים ואחרים הייתם רוצים לברר, כדי שתוכלו להציע פתרונות למניעת אירועים מסוג זה? פרטו!

### משימה 4: ניתוח מידע והשוואה

לפניכם מידע שפורסם במהדורה המקוונת (האינטרנטית) של העיתון "ידיעות אחרונות" - Ynet ב- 3.12.10

#### זיהום אוויר חריג באיזור עתלית; התושבים התבקשו להישאר בבתים

ערכת ניטור האוויר הניידת של המשרד להגנת הסביבה, שהובאה לאיזור השרפה בכרמל כדי לבחון את מצב הזיהום, העלתה ממצאים לפיהם קיימים ריכוזים חריגים של מזהמים באיזור צומת עתלית שם אותרו 350 מיקרו-גרם חלקיקים למטר-קוב אוויר. עקב כך, מתבקשים התושבים לא לצאת מהבתים באיזור זה ולהשאיר את חלונות הבתים סגורים. במקומות קרובים שנבדקו, התגלה כי איכות האוויר מאפשרת פעילות רגילה. בזכרון יעקב נמדדו ריכוזים של 80 מיקרו-גרם חלקיקים למטר-קוב אוויר ובטירת הכרמל 100.

בהתייחס לכתבה, רשמו במה דומה, לדעתכם, אירוע זה לאירוע לונדון ובמה הוא שונה? הסבירו.

## תכונות חלקיקים באטמוספירה

חלקיקים הם תערובת של מוצקים ושל נוזלים בעלי תכונות שונות ובגדלים שונים, מחלקיקי פיח ועד לחומרים אורגניים ומתכות כבדות.

מקורם של החלקיקים הוא בתהליכים המתרחשים בטבע ובפעולות מעשה ידי אדם. מקורות טבעיים: אבק נישא ברוח, רסיסי מי-ים, אבקנים הנישאים באוויר וחומר הנפלט מהרי געש. מקורות מעשה ידי אדם: פעולות שונות של עיבוד חומר גלם כגון גריסה, טחינה והתזה. שרפת דלק בתעשייה ובכלי רכב יוצרת אפר מרחף.

גודל החלקיקים הוא תכונתם החשובה ביותר. גודלם קובע:

- א. את משך שהותם באוויר - ככל שהם קטנים יותר הם שוהים זמן רב יותר באוויר.
- ב. את מידת פיזורם מהמקור שנפלטו ממנו - ככל שהם קטנים יותר, טווח פיזורם באוויר גדול יותר.
- ג. את מידת חדירותם לדרכי הנשימה של אורגניזמים חיים - ובהתאם את מידת הנזק שהם גורמים.

גודל החלקיקים נמדד ביחידות של מיקרונים המסומנים באות  $\mu$ . ( $1 \mu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$ ).

מבחינת גודלם, ניתן לחלק את החלקיקים לשלושה סוגים:

- חלקיקים הגדולים מ-80 מיקרון המכונים אבק גס (חול, טיפות ים).
  - חלקיקים שגודלם בין 1 ל-80 מיקרון המכונים אבק (אפר פחם, חיידקים).
  - חלקיקים שגודלם בין אלפית מיקרון לבין 1 מיקרון המכונים עשן (עשן סיגריות).
- חלקיקים קטנים יותר הם מולקולות של גזים.

החלקיקים הגדולים מ-10 מיקרון, שוקעים סמוך למקור שנפלטו ממנו, קל לסננם ולקלוט אותם והם אינם נחשבים בעיה בריאותית, אלא בעיה אסתטית בעיקרה (זיהום כבסים וחומרים אחרים). חלקיקים קטנים מ-1 מיקרון חודרים למערכת הנשימה, שוהים שם זמן רב ומשם נקלטים במערכת הדם. ריכוז גבוה של חלקיקים באוויר מגביר את השפעת הגפרית הדו-חמצנית. הסיבה לכך היא, שמולקולות ה- $\text{SO}_2$  נספחות על החלקיקים וכך מתקבלים חלקיקים, המכילים ריכוז גבוה של גפרית דו-חמצנית, השוקעים במערכת הנשימה, וגורמים לנזק מוגבר וממושך.

### משימה 5: ניתוח מידע

1. הקטע בנושא תכונות חלקיקים באטמוספירה כולל ארבע פסקאות. בכל פסקה מוצג היבט אחר של הנושא. תנו כותרת לכל אחת מהפסקאות בהתאם למידע המרכזי שמוצג בה.
2. ציינו מקורות אפשריים לחלקיקים באטמוספירה. חשבו על מקורות נוספים מלבד אלו המוזכרים בקטע.
3. הסבירו את הקשר בין גודל החלקיק המזהם באוויר ובין הנזק שהוא גורם.

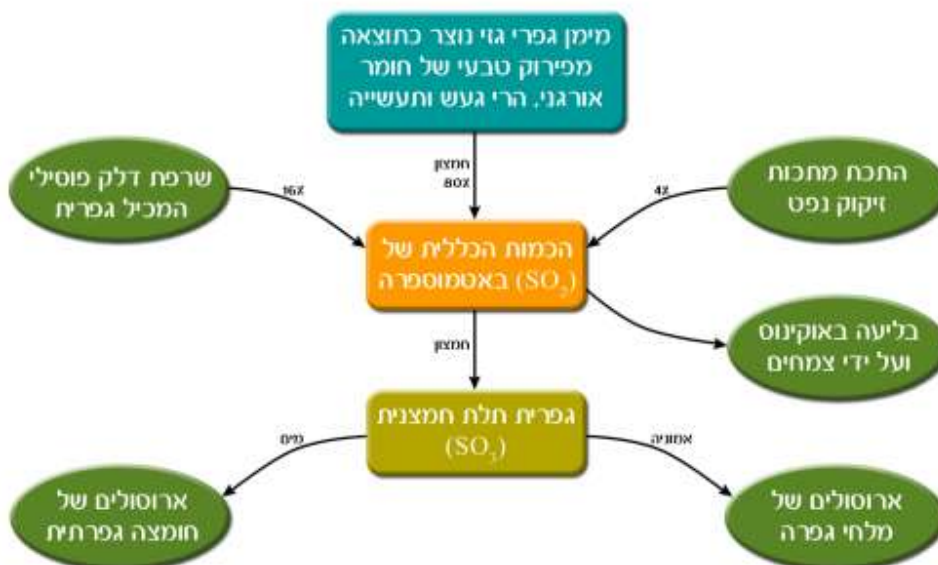
## זיהום מתחמוצות גפרית

הגפרית נמצאת באטמוספירה בכמה תרכובות, שהעיקריות הן: מימן גפרי גזי, אירוסולים (טיפות המרחפות באוויר) של חומצה גפרתית ותחמוצות של גפרית ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ).

התרשים שלפניכם מתאר מקורות להיווצרות גפרית דו-חמצנית ודרכים לפיזור ולסילוק מהאטמוספירה. הסיבה לנזק הנגרם מגפרית דו-חמצנית היא המסיסות הרבה שלה במים. כתוצאה מכך, היא מגיבה עם הלחות שבאוויר (אדי מים) ויוצרת את החומצה הגפרתית. חומצה זו אחראית להיווצרות הגשם החומצי היורד באזורים תעשייתיים. הגשם החומצי גורם לפגיעה בצמחייה, ביבולים חקלאיים, בקרקע, במבנים ובמקורות מים (הפיכת המים לחומציים פוגעת בשרשרות המזון של יצורים החיים במים). הנזק לבני האדם נובע מכך שמערכת הנשימה בנויה מרקמות לחות, ולפיכך הן מהוות "מגיב" אידיאלי לתחמוצות הגפרית. בריכוז של 1 ppm מורגש ריח הגפרית הדו-חמצנית. בריכוז של כ- 5 ppm נוצרים גירוי והפרעה בעיניים. בריכוז של כ- 10 ppm קיימים קשיי נשימה.

בנוכחות חלקיקים מזהמים אחרים, גוברת השפעתה המזהמת של הגפרית הדו-חמצנית, כפי שקרה באירוע לונדון. הסיבה לכך היא שהחלקיקים משמשים כגרעיני גיבוש למולקולות הגפרית הדו-חמצנית, ובשאיפת חלקיקים אלו חודר ריכוז גבוה יותר של תחמוצות גפרית לגוף. תופעה זו קרויה סינרגיזם והיא מאופיינת בכך, שהשפעה משולבת של מזהמים אחדים גדולה מהשפעתו של כל גורם מזהם בפני עצמו. האיור מתאר את תהליכי ההיווצרות והפיזור של תחמוצות הגפרית.

### היווצרות ופיזור תחמוצות גפרית באטמוספירה



## משימה 6: ניתוח מידע

1. מלאו את הטבלאות שלהלן לפי האיור המתאר את היווצרות תחמוצות הגפרית באטמוספירה ואת פיזורן:

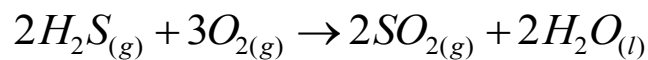
מקורות להיווצרות SO <sub>2</sub> באוויר	דרכים לפיזור SO <sub>2</sub> מהאוויר
מקורות להיווצרות SO <sub>3</sub> באוויר	דרכים לפיזור SO <sub>3</sub> מהאוויר

2. נסו להסביר את העובדה שלמרות ש-SO<sub>2</sub> נוצר באטמוספירה גם מתהליכים טבעיים, דווקא ה-SO<sub>2</sub> הנוצר מפעולות האדם גורם לנזקים החמורים ביותר.

### תכונות הגפרית הדו-חמצנית

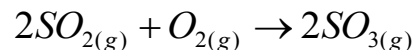
הגפרית הדו-חמצנית היא אחד מהמזהמים העיקריים של האוויר. זהו גז חסר צבע, בעל ריח חריף. הוא מסיס היטב במים, ויוצר בתגובה עם חומצה גפריתית (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).

המקור העיקרי של גפרית דו-חמצנית באוויר (80%) הוא פליטה ממקורות טבעיים. מימן גפרי גזי, הנוצר בהתפרצויות הרי געש ובריקבון של חומרים אורגניים, מתחמצן בנוכחות החמצן שבאוויר ויוצר את הגפרית הדו-חמצנית בתהליך הבא:

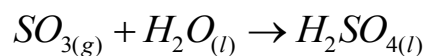


תחמוצות גפרית שמקורן בפעולות האדם נפלטות בעיקר משרפת דלק פוסילי. נפט גולמי ומזוט מכילים ריכוז גבוה של גפרית (כ- 3%), פחם מכיל כ- 1%-1.5% גפרית, ואילו בבנזין הריכוז נמוך מאוד. בזמן שרפת דלק המכיל גפרית, נוצרת הגפרית הדו-חמצנית.

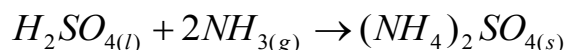
באוויר נקי, שיש בו ריכוז גבוה ומספיק של חמצן, מתחמצנת הגפרית הדו-חמצנית לגפרית תלת-חמצנית לפי ניסוח התהליך שלפניכם:



הגפרית התלת-חמצנית מגיבה עם טיפות מים באוויר, ויוצרת אירוסולים של חומצה גפרתית לפי ניסוח התהליך שלפניכם:



נוכחות של אמוניה ( $NH_3$ ) באוויר מנטרלת את החומצה הגפרתית על-ידי תגובה איתה ועל-ידי יצירת אירוסולים של המלח אמון גפרתי  $(NH_4)_2SO_4$  לפי הניסוח:



חלק מהגפרית הדו-חמצנית הנפלטת לאטמוספירה, מגיעה לאוקיינוסים ומתמוססת במימיהם. חלקה נקלט על-ידי הצמחים ומשתתפת במחזור הביו-גאוכימי של הגפרית, חלקה חוזר לקרקע בגשמים כחומצה או כמלח אמון גפרתי וחלק אחר שוקע מהאוויר תוך 5-14 שעות מעת פליטתו.

### משימה 7: חשיבה יצירתית

היעזרו במידע שלעיל וחברו חמסיר (בחרוזים) או כרזה שיציגו את תכונותיה של הגפרית הדו-חמצנית ואת נזקיה.

## זהירות, גפרית בדלק !

### משימה 8: ניתוח מידע מטבלאות

1. דלק המכיל גפרית, גורם לפליטת  $SO_2$  בזמן שרפתו. דלקים שונים, מכילים כמויות שונות של גפרית כפי שניתן לראות בטבלה:

סוג הדלק	תכולת הגפרית ב- אחוזים
נפט גולמי	2.6-2.7 *
נפט לחימום	0.2
בנזין	0.2
סולר	0.4
דלק למכוניות דיזל**	0.9
מזוט קל	2.7
מזוט כבד	2.9
גז לבישול	0
פחם	0.2

\* ריכוז הגפרית בנפט הגולמי שונה בהתאם למקור הנפט (הוא יכול להיות בין 0.3%-5.5%).  
\*\* במכוניות דיזל, הדלק הוא סולר.

- א. איזה דלק יגרום לזיהום החמור ביותר של  $SO_2$  מדוע?  
ב. לפי הטבלה, האם מכוניות הן מקור לזיהום של  $SO_2$ ? הסבירו.

2. בטבלה שלפניכם מובאים נתונים על פליטת תחמוצות גפרית בישראל משרפת דלק, בשנים 2000 - 2009. הכמויות הן בטונות.

**פליטת תחמוצות גפרית בישראל משרפת דלק (בטונות)**

שנה						סוג הדלק
2009	2008	2007	2006	2005	2000	
366	304	230	297	135	-	גז טבעי
348	234	225	213	206	595	בנזין
845	818	832	670	786	863	נפט
3,791	3,399	4,175	3,263	3,238	4,862	סולר
23,066	28,374	33,786	54,735	73,397	129,219	מזוט כבד
107,216	112,849	117,444	113,025	116,893	132,230	פחם

(\*) מתוך השנתון הסטטיסטי לישראל 2010

[http://www.cbs.gov.il/reader/shnaton/templ\\_shnaton.html?num\\_tab=st27\\_04&CYear=2010](http://www.cbs.gov.il/reader/shnaton/templ_shnaton.html?num_tab=st27_04&CYear=2010)

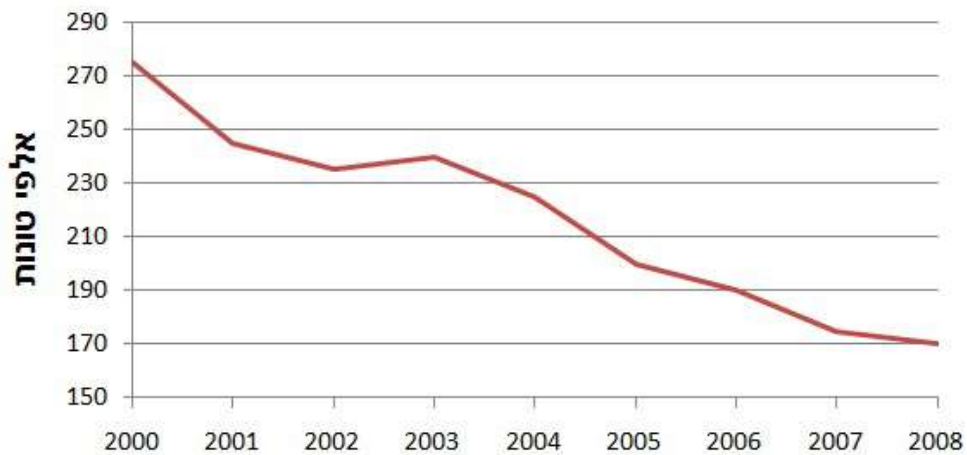
- א. משרפת אילו דלקים מתקבלת הכמות הגדולה ביותר של תחמוצות גפרית בישראל?
- ב. I. במדינות רבות עוברים לשרפת דלק המבוסס על גז טבעי. היכן בטבלה ניתן לראות עדות למגמה זו?
- II. בעשור האחרון מנסים לעבור להפעלת תחנות כוח בארץ באמצעות גז טבעי. האם הנתונים בטבלה יכולים להעיד על כך? נמקו.
- ג. I. מזוט ופחם מהווים את עיקר מקורות הדלק בתחנות הכוח בארץ. מהי המגמה המסתמנת בשנים האחרונות בעניין פליטת תחמוצות הגפרית מדלקים אלו?
- II. נסו להעלות השערות שיסבירו מגמה זו.
- III. תחנות החשמל חויבו, בשנים האחרונות, לעבור לשימוש במזוט דל-גפרית, בתקופות שיש בהן עלייה משמעותית בריכוז תחמוצות הגפרית באוויר. כיצד בא דבר זה לביטוי בטבלה?
- IV. לפי הנתונים בטבלה שבשאלה 1, תכולת הגפרית בפחם נמוכה בהרבה מאשר במזוט כבד. לפי הנתונים בטבלה שבשאלה זו, פליטת תחמוצות הגפרית משרפת פחם היא הגבוהה ביותר בארץ. כיצד תסבירו זאת?
- ד. בנזין משמש כדלק העיקרי בכלי רכב בארץ. לפי נתוני הטבלה, האם כלי רכב מהווים מקור של ממש לזיהום אוויר מתחמוצות גפרית? נמקו.
- ה. על פי הטבלה לא מסתמנת מגמת ירידה בפליטת תחמוצות גפרית שמקורן בכלי רכב.
- I. היכן עובדה זו באה לביטוי בטבלה?
- II. מהן הסיבות לכך לדעתכם?
- III. חוו דעתכם בנוגע לעובדה זו.



## משימה 9: ניתוח מידע מגרפים

1. לפניכם נתונים על פליטת תחמוצות גפרית בישראל משריפת דלק בשנים 2000-2008.

(מתוך: [http://www.cbs.gov.il/publications10/sdi08/pdf/indi07\\_h.pdf](http://www.cbs.gov.il/publications10/sdi08/pdf/indi07_h.pdf))



א. מה הייתה כמות פליטת תחמוצות הגפרית בישראל

I. בשנת 2001?

II. בשנת 2005?

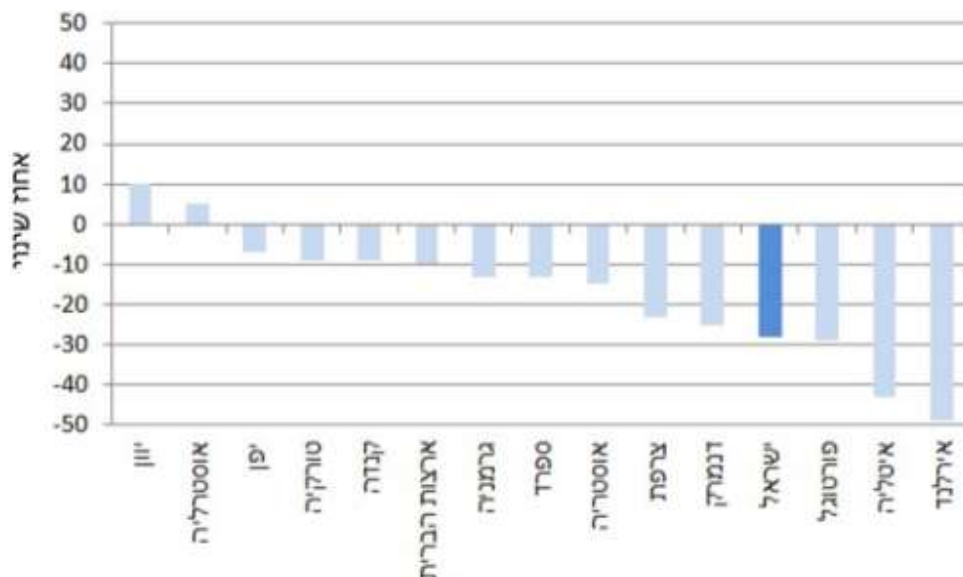
ב. מהי המגמה העולה מהגרף לעניין פליטת תחמוצות גפרית בארץ?

ג. האם מגמה זו מתאימה לנתונים המוצגים בטבלה שבמשימה 8, שאלה 2? הסבירו.

2. עיינו בגרף וענו על השאלות שבהמשך:

שיעור השינוי בפליטת תחמוצות הגפרית (SOX) משרפת דלק בישראל ובעולם -

השוואה בין-לאומית לשנים 2005-2000



(מתוך: [http://www.cbs.gov.il/publications10/sdi08/pdf/indi07\\_h.pdf](http://www.cbs.gov.il/publications10/sdi08/pdf/indi07_h.pdf))

- א. מי היא המדינה אשר הורידה את היקף פליטת תחמוצות הגפרית במידה הרבה ביותר? נמקו לפי הגרף.
- ב. מהי המגמה הכללית המסתמנת בעולם בהתייחס לפליטת תחמוצות גפרית? כיצד רואים זאת בגרף?
- ג. מה המצב של ישראל ביחס למגמה זו?
- ד. האם המצב בישראל, כפי שעולה מגרף זה, תואם את הנתונים בגרף המוצג בסעיף 1? נמקו.
- ה. במה שונות יוון ואוסטרליה משאר המדינות המוצגות בגרף? הציעו השערות לסיבות לשוני זה.

### משימה 10: חשיבה ביקורתית - ניתוח פרסומת

**בזן - בתי זיקוק לישראל בע"מ** מפרסמים כי הם פועלים רבות למען איכות הסביבה. באתר האינטרנט של החברה מצוין כי:

בתי זיקוק לנפט בע"מ - בזן ממלא תפקיד מרכזי במשק האנרגיה בארץ. במפעל הממוקם בחיפה, מיוצרים מגוון תזקיני נפט וחומרי גלם הדרושים לתעשייה, לתחבורה ולמשק האנרגיה. בזן שומרת בקפדנות רבה על איכות מוצריה, העומדים כולם בדרישות התקן המחמירות ביותר בישראל ובאירופה.

המגמה הירוקה של בזן למען עתיד טוב יותר לסביבה, מתבטאת בשיתוף פעולה מלא עם המשרד לאיכות הסביבה ובהשקעה של עשרות מיליוני דולרים למטרה זו בלבד.

טלפון לדיווחים בעניין מפגעי ריח וזיהום אויר ממתקני החברה 24 שעות ביממה: [מצורף באתר]

א. חוו דעתכם על הפרסומת, תוך התייחסות לנקודות האלה:

- ◆ מה הוא המסר שהחברה מנסה להעביר?
- ◆ מדוע החברה מדגישה את פעולותיה למען איכות הסביבה?
- ◆ האם הפרסומות שכנעו אתכם? נמקו.



ב. היכנסו לאתר החברה: <http://www.orl.co.il/index.html>, לקישור "בזן למען איכות הסביבה" ורשמו אילו פעולות החברה עושה למען איכות הסביבה. חוו דעתכם.

## דלק דל-גפרית

הדלקים שמשמשים בהם בתעשייה ובתחנות הכוח ובכלי הרכב הכבדים מכילים גפרית. בזמן שרפת הדלק מתרחשת תגובה עם החמצן שבאוויר, ונוצרות תחמוצות גפרית הגורמות לזיהום אוויר. כדי להקטין את זיהום האוויר מתחמוצות אלו יש לעבור לדלק דל-גפרית המכיל אחוז נמוך יותר של גפרית בדלק. בעשור האחרון נעשו פעולות רבות להקטנת זיהום האוויר מתחמוצות גפרית. בשנת 2005 פורסם כי חברת החשמל השקיעה 35 מיליון דולר בדלק דל-גפרית, ורכשה בקולומביה פחם איכותי, דל גפרית המיועד לתחנת הכוח "אורות רבין".

בשנת 2004 נדרשו כל תחנות הדלק בתל-אביב לעבור משיווק של סולר דל-גופרית המכיל 350 ppm גפרית, לסולר המכיל 50 ppm גפרית. כתוצאה, חלה ירידה בפליטת גפרית דו-חמצנית וחלקיקים, שהשפיעה על ירידה כוללת בזיהום האוויר בשיעור של 7-8 אחוזים. בשנת 2009 חויבו כל תחנות הדלק בתל-אביב לעבור לשימוש בסולר דל-גופרית המכיל 10 ppm גפרית. לפי ההערכה, הדבר גרם לירידה בשיעור של 2 עד 3 אחוזים בזיהום האוויר בעיר.

בתחילת 2011 חברת נתיבי הגז הטבעי לישראל, מקימת מערכת הולכת הגז הטבעי ומפעילתו, חנכה את השלמת העבודות להקמתו של צינור הגז המחבר את מפרץ חיפה והצפון למערכת הארצית. עם החיבור עברו כל המפעלים הפטרוכימיים במתחם בתי הזיקוק, חיפה כימיקלים ותחנת הכוח חיפה לשימוש בגז טבעי. משך השנים עברו המפעלים למזוט משופר מבחינת תכולת הגפרית, וכיום הם נדרשים להשתמש במזוט דל-גפרית בשיעור 0.5%.

## משימה 11: ניתוח מידע

1. בשלבים הראשונים של המעבר לדלק דל-גפרית בתחנות הכוח ובמפעלים גדולים, הם חויבו לעבור לדלק זה רק בתנאים מטאורולוגיים מתאימים לפי התראה של איגודי הערים.
  - א. מדוע לדעתכם לא חויבו המפעלים לעבור לדלק גפרית בקביעות?
  - ב. באילו תנאים מטאורולוגיים מדובר לדעתכם? נמקו.
2. מדוע, דווקא, בערים כמו תל-אביב וחיפה יש משמעות וחשיבות מיוחדת לתקנות המחייבות את תחנות הסולר לעבור לשיווק סולר דל-גפרית?
3. באתר משרד התשתיות הלאומיות של מדינת ישראל מוצגים האתגרים במעבר לשימוש בדלקים משופרים.
 

הכנסו לאתר המשרד:

<http://www.mni.gov.il/mni/he-il/Energy/Fuel/FuelEnvironment/FuelEnvironmentChallenges.htm>

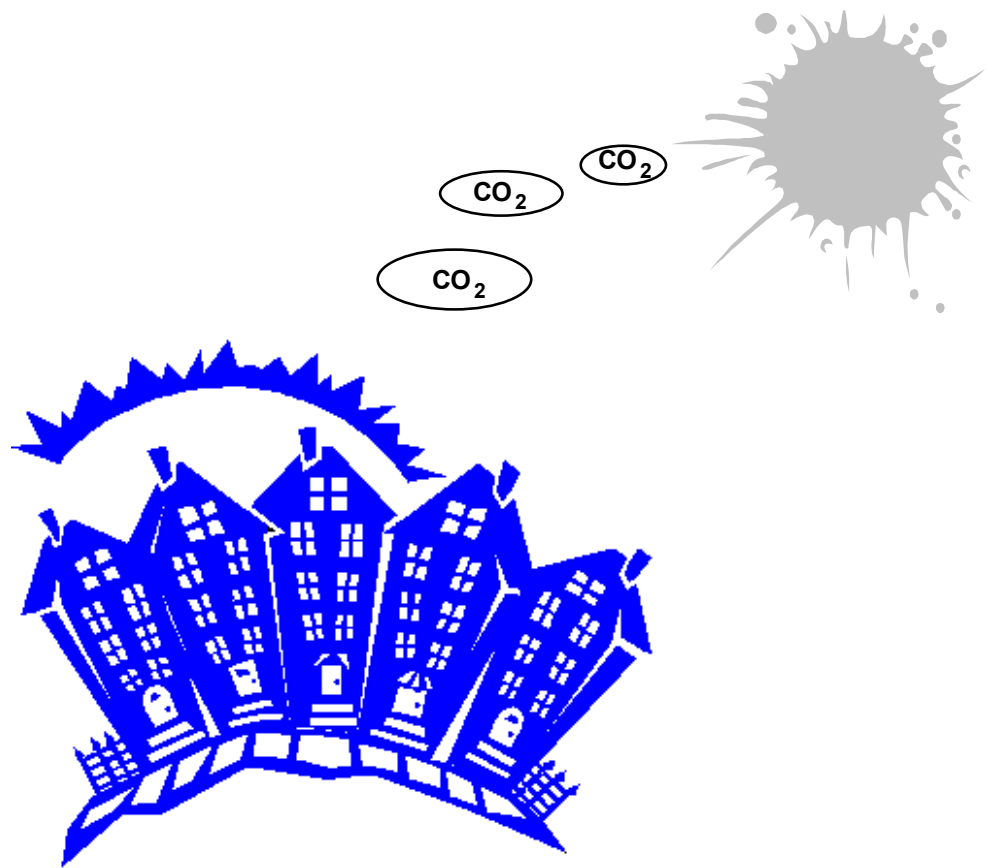
וערכו טבלה שתציגו בה כל אחד מן האתגרים המוצגים בעמודה אחת, ובשנייה הסבירו מהו הקושי בכל אחד מאתגרים אלו.

## משימת סיכום

הכינו סיכום של הפרק באמצעות מצגת, כרזה (פוסטר) או משחק לימודי. התייחסו בעיקר לנושאים האלה:

- אירוע לונדון
  - חלקיקים כמזהמי אוויר והנזק שהם גורמים
  - תכונות הגפרית הדו-חמצנית
  - הקשר הקיים בין סוגי הדלק השונים ובין מידת הזיהום מגפרית דו-חמצנית והמגמות בתחום זה בארץ ובעולם
- יש להוסיף מידע עדכני מעבר למידע שבפרק. מומלץ להיעזר באתר של המשרד להגנת הסביבה, באתר איגוד ערים חיפה ובאתר עמותת אדם טבע ודין.

# התחממות העולמית ותחמוצות הפחמן



## תופעת ההתחממות העולמית

בעשורים האחרונים גברה המודעות לתופעת ההתחממות העולמית, הידועה גם בשם "אפקט החממה". התופעה קשורה בעליית ריכוז גזים שונים, בעיקר ריכוז הפחמן הדו-חמצני  $\text{CO}_2$  באטמוספירה, וכתוצאה - בהתחממות כדור הארץ.

השמש שולחת סוגים שונים של אנרגיה אל כדור הארץ. אנרגיות אלו מצליחות ברובן לחדור אל כדור הארץ ולחמם אותו. חלק מהאנרגיה מוחזר לחלל. הטמפרטורה השוררת בכדור הארץ, היא תוצאה של מאזן בין האנרגיה הנקלטת בקרקע ובאטמוספירה ובין זו המפוזרת והנפלטת לחלל. ללא הפרעה חיצונית, נוצר מצב של **שיווי משקל** - מצב של איזון טבעי של אנרגיה השומר על טמפרטורה קבועה על פני כדור הארץ. הפחמן הדו-חמצני וגזים נוספים כמו מתאן ( $\text{CH}_4$ ) ואדי מים ( $\text{H}_2\text{O}$ ) הקרויים גזי חממה "בולעים" חלק מאנרגיית השמש, המוחזרת מכדור הארץ ועל-ידי כך האנרגיה אינה מתפזרת בחלל. כאשר ריכוזם של גזים אלו גדל, מופר איזון האנרגיה בכדור הארץ, ההתקררות – אין בה די, ונגרמת עלייה של הטמפרטורה באטמוספירה. הדבר דומה לחממה, שהשמש חודרת אליה דרך הזכוכית, אולם הזכוכית מונעת מהחום שבפנים לצאת החוצה והטמפרטורה בחממה עולה.

### משימה 1: ניתוח מידע

- א. נסחו שלוש שאלות על אודות המידע שקראתם. שאלה אחת שהתשובה עליה נמצאת בקטע המידע, ושתי שאלות שהתשובה להן איננה נמצאת במידע שקראתם.
  - היכן לדעתכם ניתן למצוא תשובה לשאלות השנייה והשלישית ששאלתם או למי עליכם לפנות כדי לקבל תשובות?
- באופן טבעי, מאזן האנרגיה שעל פני כדור הארץ נמצא בשיווי משקל דינמי.
  - הסבירו משפט זה, תוך שאתם נעזרים בהגדרת המושג "שיווי-משקל דינמי" שנלמד בפרק הפתיחה.
  - כיצד יכולים גזי החממה ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , אדי מים ועוד) להפר איזון זה?
- הסבירו את הקשר בין עליית ריכוז ה- $\text{CO}_2$  ובין עליית הטמפרטורה בכדור הארץ.
- מה לדעתכם הסכנה בהתחממות כדור הארץ? (רמז, חשבו על הקרחונים בקטבים).
- תופעת התחממות כדור הארץ דומה לחממה, שהשמש חודרת אליה דרך הזכוכית, אולם הזכוכית מונעת מהחום שבפנים לצאת החוצה והטמפרטורה בחממה עולה. כדי להבין את משמעותו של אפקט החממה היעזרו בדגם של חממה ובצעו את הניסוי שלהלן:
  - ◆ הניחו מד-טמפרטורה אחד צמוד לחממה (מהצד החיצוני) ומד-טמפרטורה שני בתוך החממה.
  - ◆ מדדו את הטמפרטורה ההתחלתית בשני מדי-הטמפרטורה ורשמו בטבלה.
  - ◆ האירו את הדגם במנורה בעצמה חזקה (150 וואט לפחות).

♦ מדדו לאחר כ- 15 דקות הארה את הטמפרטורה בשני מדי-הטמפרטורה (בחממה ובחוץ) ורשמו את התוצאות בטבלה. אם אין הפרש בין שני מדי-הטמפרטורה המתינו עוד כמה דקות.

רכזו את התוצאות בטבלה :

טמפרטורה מחוץ לחממה	טמפרטורה בתוך החממה	
		בהתחלת הניסוי
		בסוף הניסוי
		עליית הטמפרטורה

- א. הדגם שהשתמשתם בו מייצג את "אפקט החממה" המתרחש בכדור הארץ. מה מייצג הפלסטיק השקוף של דגם החממה ?
- ב. מהם חסרונותיו של הדגם, לדעתכם?
- ג. מהם יתרונותיו של הדגם, לדעתכם?
- ד. בעקבות הניסוי, הסבירו מדוע קיים הבדל בין הטמפרטורה בתוך החממה לטמפרטורה שמחוץ לה.

6. תופעת ההתחממות העולמית היא תופעה המשפיעה על כל העולם. האם הדבר מקל או מקשה על ההתמודדות עם הבעיה? האם התשובה היא חד משמעית? הציגו את הדעות השונות של חברי הקבוצה.

## משימה 2: חקר אירוע

לפניכם תקציר של כתבות העוסקות בהשלכות ההתחממות העולמית על האקלים בעולם ובארץ. קראו אותו בעיון והדגישו בקו מילים או משפטים החשובים לדעתכם.

## שינויים קיצוניים באקלים העולמי ובארץ

בשנת 2001 פורסם דוח הפאנל הבינלאומי לשינויי אקלים, ה- IPCC<sup>6</sup>, שהוא הדוח המקיף ביותר על המחקרים בנושא. מהדוח עלה כי עליית הטמפרטורה הממוצעת בכדור הארץ במאה השנים האחרונות גרמה לגידול באירועים קיצוניים של יובש ושל שטפונות במקומות שונים בעולם.

ב- 50 השנים האחרונות התרחשו שינויים באקלים במזרח הים התיכון. העיקריים שבהם הם התחממות בקיץ לצד ירידה מסוימת בטמפרטורות בחורף, וירידה במשקעים ברוב אגן הים התיכון. כמו כן, ניכרת עלייה באירועי גשם קיצוניים, לצד ירידה בכמות הכוללת של הגשם. חלק מהשינויים הללו הם תוצאה של ההתחממות העולמית. במחקר בין-לאומי שהיו שותפים בו גם חוקרים מישראל נמצא, כי אם תימשך

<sup>6</sup> IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

המגמה של פליטת גזי חממה לאוויר יגברו מאוד במהלך המאה הנוכחית אירועי גשם קיצוניים לצד שנים קשות של בצורת.

בעולם מדווח כי מספר אסונות הטבע הקשורים למזג האוויר גדל פי ארבעה בשני העשורים האחרונים, בגלל שינויי האקלים. בדוח שפרסם ארגון "אוקספם" (ארגון סיוע הומניטרי בריטי הפועל ברחבי העולם) עולה כי בשנות ה-80 המוקדמות של המאה ה-20 היו כ-120 אסונות בשנה; מאז עלה מספר האסונות בשנה ל-500 בממוצע. מספר בני האדם שהושפעו על ידי אסונות טבע עלה בשנים אלה ב-68%. בעשורים האחרונים התרחשו אסונות טבע גדולים ובולטים במיוחד - הרעב הגדול בשנות ה-80 באפריקה, הציקלון בבנגלדש ב-1991, הצונמי בדרום אסיה וההוריקן "קתרינה" בדרום ארה"ב. שיעור הנספים בעקבות אירועים אלה מגיע לעשרות אלפים ומספר הנפגעים בעקבות השלכות של האסונות מגיע למיליונים. הארגון דורש כי ייחתם הסכם בינלאומי, שיעניק סיוע למדינות מתפתחות להתמודד עם השלכות התחממות כדור הארץ ויעזור להם להפחית את פליטת גזי החממה. הארגון קורא למדינות העשירות והמפותחות להוביל את המהלך בהקשר זה, "משום שהן האחראיות העיקריות לפליטת גזי החממה".

מעובד מתוך:

<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3475487,00.html>

פנחס אלפרט ואחרים (2006). הקצנה באקלים בישראל: הדמיות אזוריות מעל מזרח הים התיכון, גלילאן, 98 עמ' 46-53.

1. בהתייחס למידע שבאירוע, רשמו דוגמאות לשתי עובדות ולשתי השערות.
2. בשנת 2007 הוגש דוח מפורט לוועדת המדע והטכנולוגיה בכנסת בנושא "התחממות כדור הארץ והשפעותיה על מדינת ישראל" (<http://www.knesset.gov.il/mmm/data/pdf/m01827.pdf>).  
הכנסו לדוח והסבירו:
- א. את ההשלכות העולמיות של ההתחממות העולמית על: מים ועל מזון, על קו החוף ועל אזורים נמוכים; על בריאות הציבור ועל המערכת האקולוגית (עמודים 3-5 בדו"ח).
- ב. את ההשלכות על מדינת ישראל בתחום משק המים, החקלאות, הבריאות, האקולוגיה והתיירות (עמודים 7-8).
- ג. חוו דעתכם: האם אתם, כאזרחים בעלי מודעות סביבתית, יכולים להשפיע על הקטנת הנזקים המוזכרים?
3. למרות, שיש הסכמה מדעית רחבה, כי השפעת האדם היא הגורם המשמעותי ביותר בהתחממות הגלובלית ושינויי אקלים, ישנם מספר מדענים הטוענים אחרת. לטענתם, לא ניתן להוכיח כי העלייה בטמפרטורה במאה ה-20 נובעת ברובה מעליית כמות גזי החממה, ולמעשה, יותר סביר להניח שחלק לא מבוטל מהעלייה נבע מעלייה בפעילות השמש.  
צפו בסרטון ב- YouTube ([http://www.youtube.com/watch?v=Fly\\_OYh1X8Y](http://www.youtube.com/watch?v=Fly_OYh1X8Y)) המציג קטע מראיון שנערך בערוץ 1 במרץ 2010 עם פרופסור לפיסיקה המציג היבט זה. חוו דעתכם -



האם שוכנעתם שיש מקום לספקות בדבר המקור העיקרי להתחממות העולמית? האם יש בידיכם מספיק מידע לקבל החלטה בעניין זה? נמקו.

## מחזור הפחמן בטבע

קיימים בעולם חמישה תהליכים צורכי ופולטי פחמן דו-חמצני. תהליכים אלו מווסתים את כמות ה- $CO_2$  בטבע, ושומרים על האיזון הטבעי.

### נשימה תאית

תהליך הנשימה התאית מתרחש בתאים של כל היצורים החיים (חיידקים, צמחים ובעלי חיים, בהם האדם). מולקולות של חומר אורגני (כמו סוכר) עוברות תהליך של חמצון בנוכחות חמצן. התוצרים הם מים ופחמן דו-חמצני. בתהליך מתקבלת אנרגיה החיונית לקיום התא. כמו כן, נפלטת במהלכו אנרגיית חום, שחלקה משתחרר לסביבה. האוויר שאנו שואפים מובל עם זרם הדם מהריאות לכל תאי הגוף, ואילו פחמן דו-חמצני מגיע עם זרם הדם מכל תאי הגוף לריאות. עקב כך ריכוז החמצן באוויר שאנו שואפים גבוה יותר מריכוזו באוויר שאנו נושפים. לגבי פחמן דו-חמצני המצב הפוך. ריכוזו באוויר שאנו נושפים גבוה מריכוזו באוויר שאנו שואפים. ניתן לסכם את תהליך הנשימה התאית כך:

פחמן דו-חמצני + מים → חמצן + חומר אורגני

### פוטוסינתזה

יצורים אוטוטרופים הנקראים גם יצרנים, מייצרים חומרים אורגניים מחומרים אנאורגניים. יצורים אלו אינם מקבלים חומרים אורגניים (כמו: חלבונים, סוכרים) בהזנתם, אלא חומרים אנאורגניים, בעיקר פחמן דו-חמצני. התהליך העיקרי שנוצרות בו מולקולות אורגניות מאנאורגניות בטבע, הוא תהליך הפוטוסינתזה. בתהליך זה נוצר גם חמצן, הדרוש לנשימה של בעלי-חיים. לקיום התהליך דרושים אנרגיית אור וכלורופיל. הכלורופיל היא מולקולה הקולטת את אנרגיית האור והופכת אותה לאנרגיה כימית המשמשת ליצירת גלוקוז (סוכר), שהוא חומר אורגני. הכלורופיל מצוי בצמחים ירוקים, ולכן הם וגם אצות וחלק מהחיידקים מבצעים את תהליך הפוטוסינתזה. נסכם את תהליך הפוטוסינתזה כך:

סוכר + חמצן → פחמן דו-חמצני + מים <sup>אור</sup>

## ריקבון ושרפה

בתקופות קדומות, נוצרו במשך שנים רבות שכבות של צמחים שנרקבו ושל אדמת סחף. השכבות העליונות יצרו לחץ רב על השכבות התחתונות, נוצר חוס רב וכתוצאה מכך נגרמו שינויים כימיים בהרכב הצמחים הרקובים. רוב המימן והחמצן שבצמחים נפלט, ונשאר בעיקר פחמן. הרקב הצמחי הלך והתקשה עד שהפך לפחם. במקומות שהיו בהם מלבד צמחים שנרקבו, גם שלדים וגוויות של בעלי-חיים, נוצרו בדרך דומה נפט גולמי וגז טבעי.

חומרים אלו משמשים כחומרי דלק. בשעת שרפתם נוצרים פחמן דו-חמצני, מים וחום רב. חומרי דלק אלו (שמקורם בפחם, נפט גולמי או גז) נקראים דלק פוסילי. אלו הם חומרי דלק שהאדם משתמש בהם במפעלים, בתחנות כוח, במכוניות ועוד. עצים מכילים גם הם פחמן ובזמן שרפתם נוצר פחמן דו-חמצני. את תהליך השרפה, שהוא תהליך התרכבות עם חמצן, ניתן לסכם כך:



## תהליכים גאו-כימיים

במעמקי האדמה פועלים כוחות אדירים הגורמים כל הזמן לשינויים קלים על פני האדמה. מדי פעם, גורמים כוחות אלו להתפרצותם של הרי געש ולפליטת לבה וגזים רבים. בין גזים אלו, הנפלטים מהרי געש, נפלט גם פחמן דו-חמצני בכמות רבה. תהליכים גאו-כימיים מתרחשים גם על פני האדמה. רוח, מים ושמש גורמים לשחיקת סלעים (העשויים מאבן גיר המכילה פחמן). תוצרי השחיקה נערמים ונדחסים לסלעים ועוברים תהליך של עיצוב מחדש (מטמורפוזת). בתהליך זה, מופעלים על הסלעים חום ולחץ רב, נוצרת תגובה כימית ובעקבותיה נפלטים לאוויר גזים שונים, בעיקר פחמן דו-חמצני.

## התמוססות

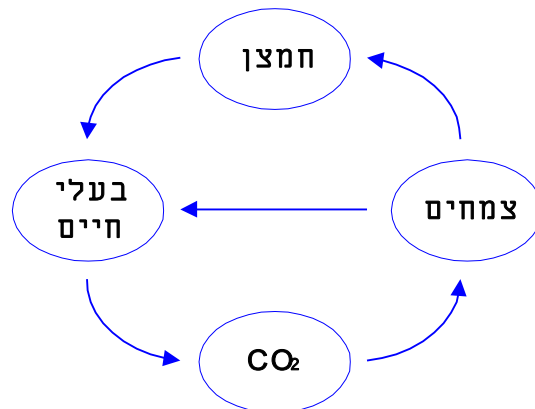
גזים יכולים להתמוסס בנוזלים. פחמן דו-חמצני יכול להתמוסס במים, וכך הוא נקלט מהאוויר בימים ובאוקיינוסים. מידת ההתמוססות של גזים בנוזלים תלויה בטמפרטורה. כאשר הטמפרטורה עולה, מידת ההתמוססות יורדת. לכן, בד בבד עם התחממות כדור הארץ, משתחרר  $\text{CO}_2$  מהימים ומהאוקיינוסים ופחות  $\text{CO}_2$  יכול להתמוסס.

### משימה 3: ניתוח מידע

1. בחלק מהתהליכים המווסתים את כמות ה- $\text{CO}_2$  בטבע נקלט פחמן דו-חמצני, ובחלקם הוא נפלט. השלימו בהתאם את המשפטים שלפניכם, והשתמשו באוצר המילים: נשימה תאית, פוטוסינתזה, ריקבון ושרפה, תהליכים גאו-כימיים, התמוססות, אדם, בעלי-חיים, צמחים ירוקים, שרפת דלק פוסילי, התפרצות הרי געש ושחיקת סלעים, מי ים.

- ♦ בתהליך \_\_\_\_\_ נפלט/נקלט פחמן דו-חמצני ע"י \_\_\_\_\_.
- ♦ בתהליך \_\_\_\_\_ נפלט/נקלט פחמן דו-חמצני ע"י \_\_\_\_\_.
- ♦ בתהליך \_\_\_\_\_ נפלט/נקלט פחמן דו-חמצני ע"י \_\_\_\_\_.
- ♦ בתהליך \_\_\_\_\_ נפלט/נקלט פחמן דו-חמצני ע"י \_\_\_\_\_.
- ♦ בתהליך \_\_\_\_\_ נפלט/נקלט פחמן דו-חמצני ע"י \_\_\_\_\_.

2. תלות מיוחדת קיימת בין בעלי החיים ובין הצמחים. קראו שוב את המידע בנושא תהליכי הנשימה והפוטוסינתזה, והשלימו את הסכמה שלהלן.  
הוסיפו במקומות המתאימים ליד החצים את המילים: נקלט על-ידי..., פולטים, נאכלים על-ידי..., פולטים, נקלט על-ידי...

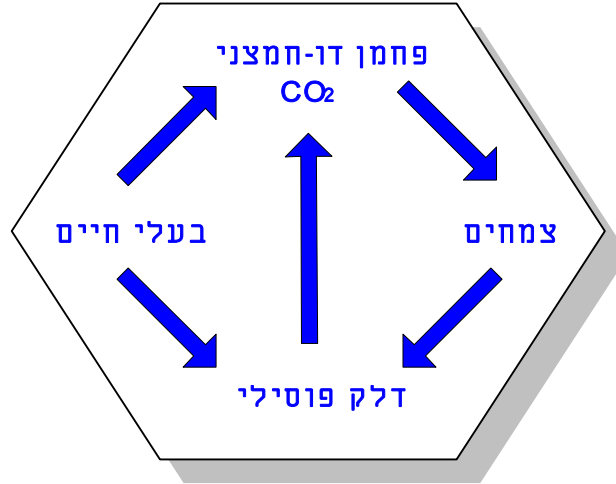


3. רשמו בכל אחד מהמצבים, האם ריכוז הפחמן הדו-חמצני באוויר יעלה, יירד או לא ישתנה. נמקו את תשובותיכם.

- א. חדר סגור שנמצאים בו בני אדם. בחדר אין צמחים;
- ב. אקווריום ובו דגים וצמחים;
- ג. גיונגל שנכרתו בו רוב העצים;
- ד. אוויר מעל יער בזמן שרפה.

4. האם ריכוז הפחמן הדו-חמצני על פני כדור הארץ, בתקופה שפני האדמה היו מכוסים בצמחיה עבותה ובמעט בעלי-חיים, היה גבוה או נמוך בהשוואה לריכוזו היום? נמקו!

5. לפניכם סכמה המסכמת את גלגולי הפחמן הדו-חמצני בטבע. הוסיפו מעל הקצים את התהליכים המתאימים: שרפה, נשימה, פוטוסינתזה, ריקבון.

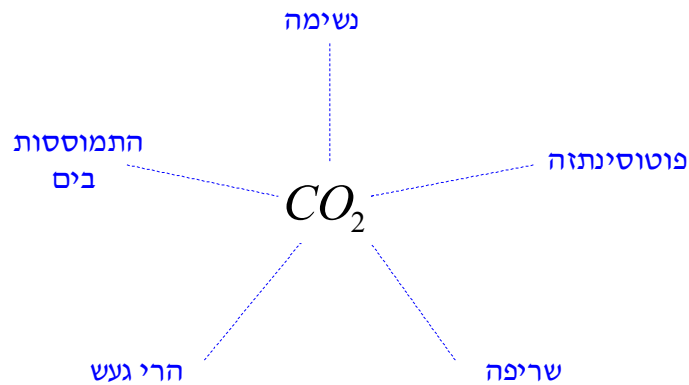


6. הכרתם חמישה תהליכים הקשורים בקליטה ובפליטה של פחמן דו-חמצני בטבע. תהליכים אלו מהווים מנגנונים טבעיים המווסתים את כמות ה- $CO_2$  בטבע. הסכמה שלפניכם מציגה את חמשת התהליכים האלו.

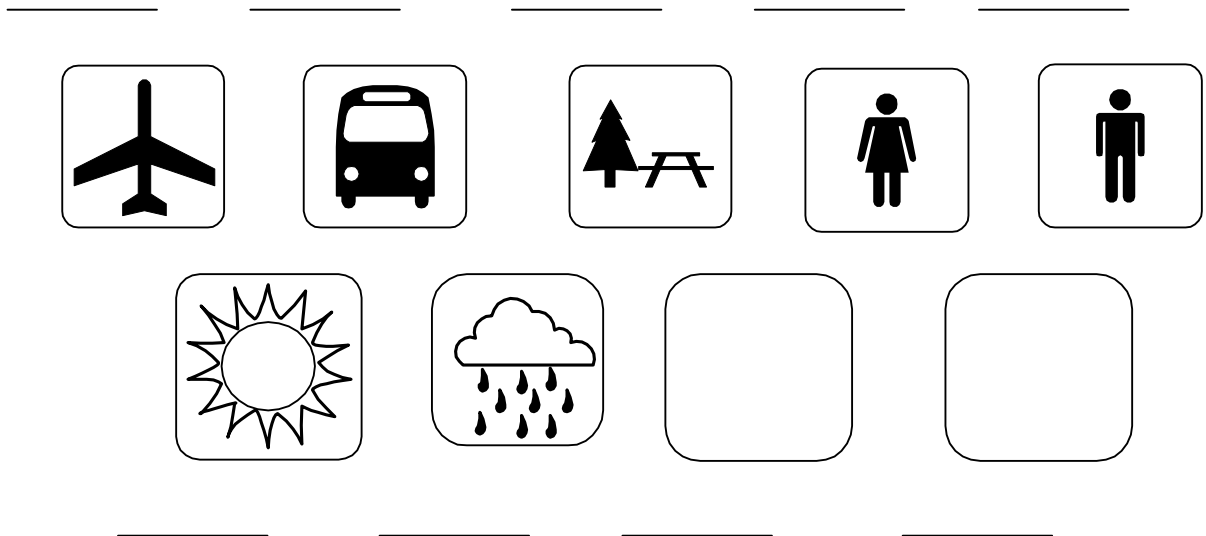
א. הוסיפו קצים בכיוונים המתאימים בין כל אחד מהתהליכים ובין ה- $CO_2$ .

חץ הפונה ל- $CO_2$  פירושו: יצירת  $CO_2$ .

חץ היוצא מ- $CO_2$  פירושו: קליטת  $CO_2$ .



ב. התאימו את האיוורים שלפניכם לתהליכים השונים והוסיפו איוורים.



7. תהליכי משוב הם תהליכים המאפשרים ויסות של מערכות.

משוב חיובי הוא מצב שבו שינוי במרכיב אחד במערכת גורר סדרת שינויים המשפיעים על מרכיב זה, כך שהשינוי הראשוני יגדל. דוגמה: כאשר יש רעש בכתה ← על המורה לדבר חזק יותר ← לכן התלמידים המתלחשים ביניהם אינם שומעים זה את זה ומתחילים לדבר חזק יותר ← הרעש בכיתה גובר, וחוזר חלילה.

משוב שלילי שינוי במרכיב אחד במערכת גורר סדרת שינויים המשפיעים על מרכיב זה כך שממדי השינוי הראשוני יצומצמו. דוגמה: כאשר יש רעש בכתה ← על המורה להעניש תלמיד או תלמידה ← התלמידים האחרים חוששים ומשתתקים ← הרעש קטן.

רשמו עבור המקרים שלהלן, האם המשוב הוא חיובי או שלילי:

א. ישנה סברה, שהעלייה בכמות הפחמן הדו-חמצני שבאוויר תגרום לעליית הטמפרטורה בכדור הארץ. עלייה זו תגרום להקטנת כמות הפחמן הדו-חמצני המסיס במים, וכתוצאה יותר פחמן דו-חמצני ישתחרר לאוויר, ויגרום לעלייה נוספת בטמפרטורת כדור הארץ. מהו סוג המשוב ומדוע?

ב. סברה אחרת טוענת, שהתחממות כדור הארץ תביא לעלייה בלחות (עקב התאדות מוגברת של מי הים) ולריבוי עננים. עננים אלו יגרמו לפיזור קרינת השמש, כמות הקרינה המגיעה לכדור הארץ תקטן, והטמפרטורה בכדור הארץ תרד. מהו סוג המשוב ומדוע?

## סיבות ומגמות לעליית ריכוז ה- $\text{CO}_2$ בעולם

חמישה תהליכים עיקריים מווסתים את ריכוז הפחמן הדו-חמצני בטבע: נשימה, פוטוסינתזה, ריקבון ושרפה, מסיסות במי ים ותהליכים גאו-כימיים. תהליכים אלו שומרים על איזון בטבע ועל ריכוז קבוע, יחסית, של פחמן דו-חמצני באטמוספירה.

האדם וההתפתחות הטכנולוגית הרבה גרמו לעלייה ניכרת בריכוז פחמן דו-חמצני באוויר, וכך הופר האיזון בטבע. התהליכים הטבעיים אינם יכולים עוד לווסת את ריכוז ה-  $\text{CO}_2$ , וריכוזו הולך ועולה בקצב מהיר.

האדם גרם לכך בדרכים אחדות: בכריתה המונית של יערות כדי להשתמש בעץ לתעשיות וכחומר דלק, ובשרפת כמויות ענק של דלקים בתעשייה, בתחבורה ובשימוש ביתי.

צריכת האנרגיה העולמית גבוהה היום פי עשרה מזו שבתחילת המאה ה-20, והתוצאה היא פליטה רחבת ממדים של פחמן דו-חמצני וגזי חממה נוספים.

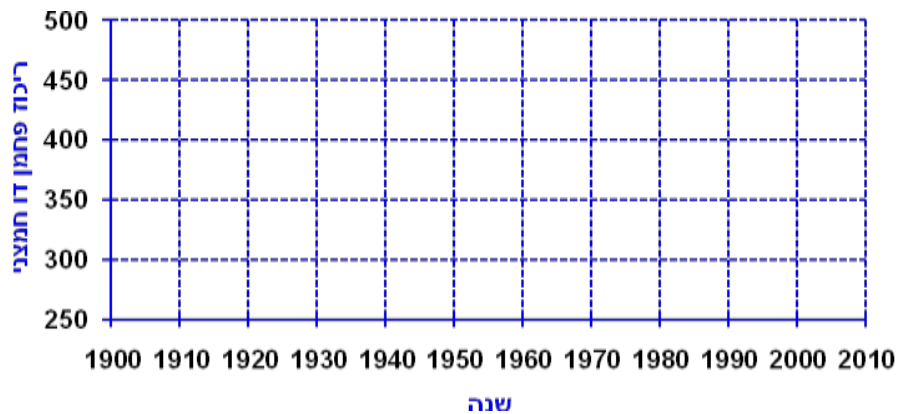
מדינות המערב גורמות לפליטת קרוב לשלושה רבעים מכלל ריכוז הפחמן הדו-חמצני הנפלט לאוויר, בשל שימוש נרחב באנרגיה. המדינות המתפתחות, המאגדות בתוכן כשלושה רבעים מאוכלוסיית העולם, צורכות רק 18% מכלל החשמל המופק בעולם, ובהתאמה תורמות מעט לעליית ריכוז הפחמן הדו-חמצני בעולם.

### משימה 4: ניתוח מידע

1. כיצד גרם האדם לעלייה בריכוז ה-  $\text{CO}_2$  ולהפרת האיזון בטבע?
2. לפניכם נתונים לגבי ריכוז ה-  $\text{CO}_2$  באוויר במאה ה-20 ובתחילת המאה ה-21:

שנה	ריכוז $\text{CO}_2$ (ppm)
1900	290
1950	300
1970	330
1990	355
2010	390

- א. שרטטו גרף המתאר את הנתונים הללו. (שימו לב, הגרף המתקבל איננו קו ישר. אל תנסו לחבר את הנקודות בסרגל!).



- ב. מה הן מסקנותיכם מהגרף?
- ג. במשך 50 שנה בין 1900 ל-1950, עלה ריכוז הפחמן הדו חמצני ב-\_\_\_\_\_ ppm.  
 לעומת זאת, ב-20 שנה שבין 1950 ל-1970 הייתה עלייה של \_\_\_\_\_ ppm.  
 האם מגמה זו ממשיכה לפי הנתונים? הסבירו.
5. נשמעת טענה, שהגברת הזיהום החלקיקי באוויר יהווה פתרון לאפקט החממה. החלקיקים באוויר מצמצמים את קרינת השמש הפוגעת בכדור הארץ, וכך פחות חום יחדור לכדור הארץ והוא יתקרר. חוו דעתכם על טענה זו, האם זהו פתרון טוב?
6. פחמן דו-חמצני חיוני לחיים (חשבו מדוע!), אך מצד שני הוא מזיק ("אפקט החממה"). נסו להסביר "סתירה לכאורה" זו. נסו למצוא דוגמה נוספת של "סתירה לכאורה" מסוג זה בטבע.
7. חברו שתי שאלות על המידע המופיע בסוף הקטע (...מדינות המערב...). שאלה אחת שהתשובה עליה נמצאת בקטע, ושאלה שנייה, המעוררת מחשבה ושהתשובה עליה אינה נמצאת בקטע. נסו לענות על שאלות אלו. באילו מומחים או מאגרי מידע תיעזרו בעת חיפוש תשובות לשאלות?

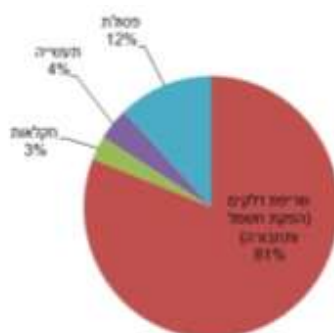
## פליטת גזי חממה בישראל

ישראל הנה גורם שולי מבחינת היקף פליטות גזי החממה בעולם (עשרות מליוני טונות בשנה לעומת מיליארד טונות בגרמניה, למשל). עם זאת, מבחינת סך הפליטה לנפש, ישראל דומה למדינות מפותחות אחרות בעולם.

בטבלה זו מוצגים נתונים של פליטת CO<sub>2</sub> בישראל ובארה"ב בשנים 2001 - 2007 (ביחידות של טון לראש)<sup>7</sup>

שנה	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
ישראל	10.2	9.6	9.7	9.3	8.5	9.3	9.3
ארה"ב	19.7	19.8	19.6	19.8	19.7	19.3	19.3

התפלגות המקורות לפליטת גזי חממה בישראל מוצגים בגרף הבא:



## משימה 5: ניתוח מידע מטבלה ומגרף

- בהתייחס לטבלת נתוני פליטת CO<sub>2</sub>:
  - מהי המגמה בישראל בעשור הראשון של המאה ה-21 מבחינת פליטת CO<sub>2</sub> לאוויר?
  - האם מגמה זו קיימת גם בארה"ב?
  - היקף פליטת CO<sub>2</sub> לראש בארה"ב גבוהה כמעט פי 2 מזו שבישראל.
    - על מה מעיד נתון זה מבחינת כלכלת ארה"ב לעומת כלכלת ישראל? הסבירו.
    - האם ניתן לומר כי סך כמות פליטת ה-CO<sub>2</sub> בארה"ב היא פי 2 מזו אשר בישראל? הסבירו.
- על-פי הגרף, מהו המקור העיקרי לפליטת גזי חממה בישראל?
- נמצא כי כ-75% מסך הפליטות עקב ייצור חשמל בישראל מקורן בתחנות הכוח הפועלות על פחם (תחנת "אורות רבין" בחדרה ו"רוטנברג" באשקלון). האם אפשר להסיק מכך כי פחם הוא מקור דלק הפולט יותר גזי חממה מאשר נפט (עליו פועלות תחנות הכוח האחרות בארץ)? נמקו.
- כיצד ישראל יכולה לדעתכם לצמצם את פליטת גזי החממה בארץ?

<sup>7</sup> מתוך הבנק העולמי לנתונים: <http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>



## התמודדות העולם עם בעיית ההתחממות העולמית

כבר בתחילת שנות ה-90 התכנסו מדינות העולם לדון בבעיה של התחממות כדור הארץ הנגרמת מזיהום לאוויר שמקורו במעשי אדם. היום יש הסכמה שמשבר האקלים והצורך הדחוף בצמצום פליטות גזי חממה היא אחת הבעיות הקשות ביותר לאנושות, הדורשת התמודדות משותפת של כל מדינות העולם. בשנת 1992 פורסמה **אמנת קיוטו** שמטרתה הייתה להביא לייצוב גלובלי של ריכוזי גזי החממה באטמוספירה, ולצמצום הריכוזים לרמה שלא נגרמות בה הפרעות המסכנות את מערכת האקלים.

כדי להפוך את האמנה לאמצעי אפקטיבי, שניתן ליישם באמצעות את צעדי ההפחתה הקבועים בו, אומץ ב-1997 הנספח לאמנה הידוע בשם **פרוטוקול קיוטו**, אשר נכנס לתוקף ב-2005. הפרוטוקול מתייחס לשישה גזי חממה עיקריים, ומחייב 37 מדינות מפותחות לשאת בהפחתות הגדולות של הפליטות. צפוי כי בעתיד יופנו דרישות להפחתת פליטות גזי חממה גם כלפי המדינות המתפתחות. עד דצמבר 2010 אשררו את הפרוטוקול 193 מדינות והאיחוד האירופי.

פרוטוקול קיוטו הגדיר שתי קבוצות של מדינות: מדינות מפותחות ומדינות מתפתחות. חובת צמצום ויעד לצמצום הוגדרו רק למדינות המפותחות. ישראל הוגדרה כמדינה מתפתחת, ולכן לא הוטלה עליה חובת צמצום. עם זאת, הוטלה עליה החובה להקים ועדה שתנהל באופן מקומי את מנגנון הפיתוח הנקי. בשנת 2004 החליטה ממשלת ישראל על אשרור פרוטוקול קיוטו.

כמה מהעוסקים בנושא בישראל מניחים כי בתום התקופה הקבועה בפרוטוקול קיוטו (משנת 2012 ואילך) ישתנה מעמדה של ישראל, והיא תיחשב למדינה מפותחת ולפיכך תחויב בצמצום פליטה בשיעור מסוים.

כדי לעודד צמצום של פליטות גזי חממה גם במדינות מתפתחות, וכדי להקל על מדינות מפותחות לעמוד ביעדי הצמצום שלהן הוצע בפרוטוקול קיוטו מנגנון הפיתוח הנקי. מנגנון זה מאפשר סחר בין-לאומי בגזי חממה. לדוגמה, על איטליה (המוגדרת כמדינה מפותחת) הוטלה החובה לצמצם 8% מהפליטה של גזי חממה, אך היא יכולה לקנות חלק מצמצום הפליטה באמצעות סחר עם גופים ממדינות מתפתחות, המבצעות בתחומן תהליכי ייעול וצמצום פליטה.

ארצות-הברית, שעד שנת 2001 הייתה חתומה על פרוטוקול קיוטו, פרשה ממנו בטענה כי הטלת הגבלות רק על מדינות מפותחות תפגע פגיעה ניכרת בצמיחה הכלכלית שלהן.

## משימה 6: ניתוח מידע ונקיטת עמדה

1. נסחו שלוש שאלות המתעוררות בכס בעקבות קריאת המידע, ועדיין לא קיבלתם עליהן מענה.
2. בפרוטוקול קיוטו נקבע כי מדינות מתפתחות אינן מחויבות בצמצום גזי החממה, ואילו המדינות המפותחות מחויבות בצמיצום פליטות גזי החממה. מה לדעתכם הסיבה לכך? האם הדבר מוצדק לדעתכם?
3. מדוע פרשה ארה"ב ממחויבותה לאמנת קיוטו? הסבירו את טענתה, וחוו את דעתכם האם טענה זו מוצדקת מבחינה מוסרית.

## התמודדות מדינת ישראל עם בעיית ההתחממות העולמית

תקנות חדשות של המשרד לאיכות הסביבה מחייבות את משווקי המכוניות להציג בפרסומות נתונים בנוגע לדרגת זיהום האוויר הנפלט מכלי רכב וכן נתונים על צריכת הדלק. תקנות אלו כלולות בחוק "אוויר נקי" אשר נכנס לתוקף בישראל החל מ-1.1.2011. על-פי החוק החדש, כלי הרכב מסווגים על-פי מדד זיהום האוויר וצריכת הדלק בליטרים ל-100 מטר. לפרסומות של כלי הרכב, צריך להיות מצורף מפתח של "סולם צבעים". כל צבע מייצג דרגה של זיהום אוויר על-פי כמות המזהמים שהרכב פולט. בסולם הצבעים 15 דרגות לרכב מנועי. דרגה 1 – מציינת את הדרגה הנקייה ביותר, ודרגה 15 – הדרגה המזהמת ביותר. ניתן לראות זאת בסולם הצבעים:



### משימה 7: ניתוח מידע והעלאת טיעונים

1. כיצד משפיע השימוש המוגבר בכלי רכב על ההתחממות העולמית?
  2. א. מהי מטרת חוק "אוויר נקי" לדעתכם?
  - ב. האם חוק "אוויר נקי", אכן, עשוי לסייע במיתון ההתחממות העולמית? נמקו את תשובתכם.
3. בארץ משווקים כמה סוגים של מכוניות היברידיות אשר משלבות שימוש בדלק ובמנוע חשמלי. מכוניות אלו חסכוניות בדלק ורמת זיהום האוויר שלהן היא 2, אך הן יקרות יחסית למכוניות דומות המונעות בדלק בלבד. במכוניות המונעות בדלק בלבד, רמת זיהום האוויר היא 12 ומעלה. האם תמליצו להורכם לרכוש מכונית היברידית בכל זאת? העלו נימוקים בעד ונגד.
4. חבר הכנסת, ד"ר דב חנין, פרסם בשנת 2008 מסמך עקרונות למדיניות ישראלית להתמודדות עם משבר האקלים, והגישו לנשיא המדינה..המסמך נכתב בעזרת עמותת אדם טבע ודין וארגוני סביבה נוספים; מדענים, אנשי אקדמיה ומשפט וקראו לו "מענה לוקלי למשבר גלובלי".
  - א. הסבירו את משמעות שמו של הדוח.
  - ב. הכנסו למסמך:

[http://www.adamteva.org.il/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/Report\\_4President.pdf](http://www.adamteva.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/Report_4President.pdf)

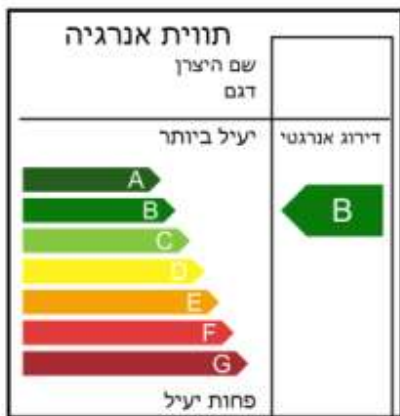
ועיינו בו. התמקדו בחלק המתחיל בעמוד 16, וסכמו את הנקודות המרכזיות הקשורות בהמלצות לממשלת ישראל ולרשויות המקומיות כיצד להתמודד עם משבר ההתחממות העולמית.

5. אחד הפתרונות לבעיית זיהום האוויר מכלי רכב, כולל הקטנת פליטת  $CO_2$ , הוא המעבר לשימוש בדלק גזי. באתר "ביו-דיזל בישראל" תוכלו למצוא מידע על המעבר לשימוש בביו-דיזל בישראל. הכנסו לאתר: <http://bio-diesel.org.il> וממנו לקישור העוסק ב: "עוברים לנסוע על גז - כן או לא". סכמו את היתרונות ואת החסרונות של השימוש בגז, כתחליף לדלק בכלי רכב. בעקבות סיכום זה, חוו את דעתכם - האם חשוב לקדם את הפתרון הזה בישראל? נמקו.

## התמודדות האזרחים עם בעיית ההתחממות העולמית

בעיית ההתחממות העולמית דורשת התארגנות כלל עולמית לצמצום התופעה. עם זאת, גם לכם, כאזרחים, יש אפשרות לתרום לפעולה הכלל עולמית להקטנת פליטת גזי החממה לאוויר. דוגמה לתרומה כזו היא המעבר לשימוש במכשירים ביתיים כגון מקרר, תנור, מזגן, מכונת כביסה וכדומה, בעלי יעילות אנרגטית גבוהה. מדד יעילות אנרגטית (COP - Coefficient of Performance) הוא מדד המבטא את היחס שבין כמות האנרגיה המתקבלת מהמכשיר (למשל, תפוקת הקירור או החימום של מזגן) ובין כמות האנרגיה החשמלית הנדרשת לפעולתו (צריכת החשמל).

בשנת 2004 נכנסה לתוקף בארץ תקנה המחייבת סימון אנרגטי ודירוג אנרגטי במזגנים. לפי דירוג זה, ככל שמקדם היעילות האנרגטי גבוה יותר, כך המזגן יעיל יותר ופועל בצורה חסכונית יותר. הדירוג מיוצג על-ידי אותיות A עד G:



A זו הדרגה הגבוהה ביותר של היעילות והחסכון.

G זו הדרגה הנמוכה ביותר של היעילות והחסכון, והדרגה המזערית שמותר לשווק בה מזגנים.

להלן דוגמה לקטע מתווית אנרגיה למזגן:

החלפה של מזגן ישן במזגן יעיל יכולה לחסוך כ-2 טון של גזי חממה בשנה! וכ-900 ש"ח בחשבון החשמל שלכם.<sup>8</sup>

## משימה 8: איתור וניתוח מידע

- א. כיצד אורח חייכם משפיע על ההתחממות העולמית? הביאו דוגמאות מחיי היום-יום שלכם.
- ב. לפניכם פרסום הלקוח ממסמך של חברת החשמל:



[https://www.iec.co.il/HomeClients/DocLib2/tavit\\_en](https://www.iec.co.il/HomeClients/DocLib2/tavit_en)

(ergia.pdf)

<sup>8</sup> <http://www.adamteva.org.il/?CategoryID=234&ArticleID=78>

I. הסבירו את כל מרכיבי האיור המופיעים בפרסום (היעזרו במידע המופיע בקטע שלעיל).

II. מדוע לדעתכם יש לחברת החשמל עניין לפרסם מסמך כזה לציבור?

2. מזגן יעיל יותר הוא חסכוני, אך החלפת המזגן כרוכה בעלות כספית גבוהה. כיצד נשכנע אנשים לעשות זאת?

חשבו על אפשרויות שונות, הן בהיבט האישי והן בהיבט הציבורי (תפקיד המדינה, למשל).

3. כאזרחים במדינה גם לכם יש אפשרות להשפיע! שינוי קטן, של **2 מעלות בלבד** בווסת החום (תרמוסטט) של המזגן, יפחית במידה ניכרת את כמות פליטת ה- $\text{CO}_2$  של משק הבית שלכם.

א. הכנסו לאתר: <http://www.adamteva.org.il/?CategoryID=234&ArticleID=96>

וסכמו את הדרכים שניתן להשתמש בהן בצורה נבונה במזגן, ולחסוך הן בפליטת גזי חממה והן בחשבון החשמל שלכם.

ב. הציעו פרסומת לשימוש נבון במזגנים.

## טביעת רגל פחמנית

כל פעילות עסקית או אישית המצריכה שימוש באנרגיה, מייצרת פליטות של פחמן. טביעת רגל פחמנית היא סך כל פליטות הפחמן המתבצעות על-ידי עסק או ארגון; עיר, בניין או בית; כלי-רכב, פעילות כלשהי או מוצר כלשהו. רוב הפעילויות העסקיות קשורות בפליטת פחמן. בחישוב טביעת הרגל הפחמנית יש לקחת בחשבון את פליטות הפחמן לאורך כל חיי המוצר, החל מחומר הגלם ובהמשך – בייצור, באריזה, בשינוע, בשיווק, בשימוש במוצר. ובסופו של דבר, גם בהתפרקותו של המוצר. סך כל פליטות הפחמן נקראות 'טביעת רגל פחמנית' (של אותו עסק, ארגון, פרט או מוצר).

במדידת טביעת הרגל הפחמנית לוקחים בחשבון פליטות של שישה גזי-חממה: פחמן דו-חמצני ( $\text{CO}_2$ ), מתאן ( $\text{CH}_4$ ), וארבעה גזים נוספים<sup>9</sup>.

חישוב טביעת הרגל הפחמנית מעלה את המודעות לכמויות פליטות הפחמן, וכך ניתן לבצע שינויים מודעים כדי להפחית את סך פליטות פחמן. בעלי עסקים רבים מבינים היום כי עליהם לצמצם את פליטת הפחמן של עסקיהם. לאחר שמזהים מהם אפיקי הפליטה בעסק, יש לנקוט בצעדי הפחתה ובצמצום של הפליטה. הפחתה בפליטות הפחמן יכולה להוזיל עלויות ייצור (לדוגמא, בעקבות מעבר לשיטת ייצור אחרת וחסכנית יותר בפליטת פחמן), ויכולה גם להוות שינוי תדמיתי עבור חברה המציגה עצמה באור "ירוק" יותר.

את פליטות פחמן שלא ניתן לצמצם או להחליף, בעלי עסקים וחברות יכולים לקזז. רעיון הקיזוז מבוסס על חישוב הפליטות, קביעת מחיר (על-פי טווח מחירים מוסכם לטון פחמן) שניתן להשקיע את כולו או את חלקו במיזמים (בפרוייקטים) סביבתיים שונים. זוהי דרך לפצות את החברה ואת הסביבה על הנזק הסביבתי הכולל שגורמת הפעילות העסקית. עיריית ניו יורק, למשל, אחראית רק ל-1% מסך טביעת הפחמן של ארצות הברית, וטביעת הפחמן שלה קטנה בשליש מממוצע ערי ארצות הברית. הסיבה לכך היא, בין היתר, מערכת מצוינת של תחבורה ציבורית, המאפשרת להתנייד בעיר ללא שימוש ברכב פרטי.

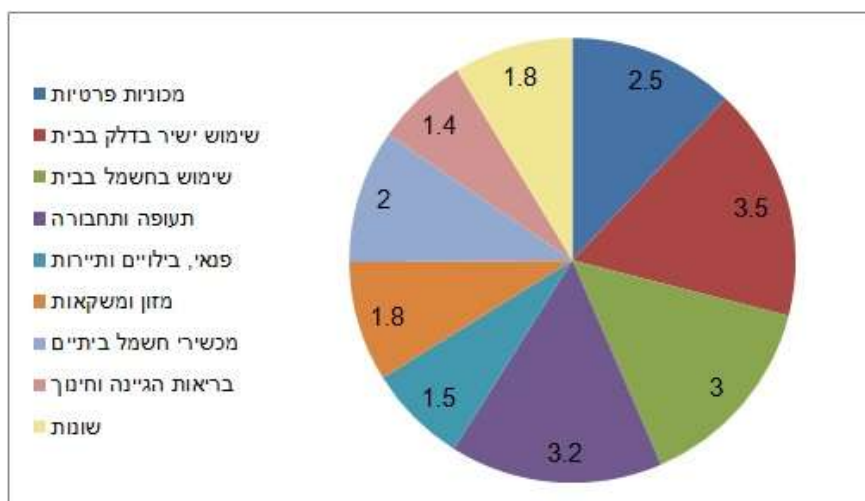
<sup>9</sup> פירוט באתר: <http://www.carbontrust.co.uk/cut-carbon-reduce-costs/calculate/carbon-footprinting/pages/carbon-footprinting.aspx>

רבים מהרגלי היום-יום שלכם קשורים בצורה כלשהי בפליטת גזי חממה. ישנם שינויים רבים שביכולתכם לעשות כדי לצמצם את כמות הפליטה שלכם, וכך להפחית את נזקי התחממות כדור הארץ.

### משימה 9: איתור וניתוח מידע

1. לפניכם איור המתאר את הרכב פליטת פחמן דו-חמצני CO<sub>2</sub> בבית ממוצע<sup>10</sup>.

הערכים באיור הם טון CO<sub>2</sub> לשנה.



א. מהם שלושת השימושים הגורמים למרב פליטת CO<sub>2</sub> של משפחה?

ב. הכינו טבלה ורשמו בה בעמודה אחת, כל אחד מהשימושים התורמים לפליטת CO<sub>2</sub> ביתית המופיעים באיור (מלבד שונות) אשר תורמים לפליטת CO<sub>2</sub> ביתית. ובעמודה השנייה, רשמו כיצד כל אחד משימושים אלו תורם לפליטה.

2. חשבו כמה אתם יכולים להשפיע ולצמצם את פליטת גזי החממה על-ידי שינוי מקצת מהפעילויות היום-יומיות שלכם. הפעילות שלהן תסייע לכם בכך.

לפניכם סדרת שאלות ותשובות אפשריות לכל שאלה עם ניקוד מתאים.

א. סמנו לעצמכם במחברת את התשובה המתאימה לכל אחת מהשאלות, ובסוף סכמו את הנקודות (המופיעות בטור השמאלי בצמוד לכל שאלה)<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> מתייחס לבית אנגלי מתוך: [http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK\\_Report\\_07-01\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf)

<sup>11</sup> השאלון מבוסס בחלקו על האתר: <http://calc.zerofootprint.net/youth/iEarn>

			<b>1. כיצד אתם מגיע לבית הספר?</b>
		0	בהליכה
		0	על אופניים
		1	בנסיעה באוטובוס ציבורי
		1	ברכבת
		2	בהסעה על-ידי אוטובוס תלמידים
		2	באופנוע
		3	במכונית המשפחתית
			<b>2. כיצד ההורים מגיעים לעבודה?</b>
		0	בהליכה
		0	על אופניים
		1	בנסיעה באוטובוס ציבורי
		1	ברכבת
		2	בהסעה מאורגנת
		2	באופנוע
		3	במכונית המשפחתית
			<b>3. כמה פעמים בשבוע אתם אוכלים מזון מהיר?</b>
		0	אף פעם
		1	פעם בשבוע
		2	פעמיים בשבוע
			<b>4. האם יש דשא בחצר ביתכם?</b>
		0	לא
		3	כן
			<b>5. באיזו תדירות אתם שותים משקאות קלים או מוגזים (כמו קולה, ספרייט...)?</b>
		0	כלל לא
		0	פחית או בקבוק בשבוע
		1	פחית או בקבוק ביום
		1	2 פחיות או 2 בקבוקים ביום
		2	3 פחיות או 3 בקבוקים ביום
		2	יותר מ-3 פחיות או 3 בקבוקים ביום
			<b>6. כמה פעמים משפחתך עושה כביסה בשבוע?</b>
1	2 - 1		
2	3 - 4		
3	4 פעמים ויותר		
			<b>7. כיצד אתם מייבשים את הכביסה?</b>
0	תולים אותה בחוץ או בבית		
2	משתמשים במייבש כביסה		
			<b>8. האם אתם מקפידים לכבות את האור ביציאה מהחדר?</b>
0	תמיד		
2	לפעמים		
3	לא		
			<b>9. באילו סוגי מנורות אתם משתמשים בבית?</b>
0	פלורסנט / PL		
2	ליבון		
			<b>10. כיצד אתם אוכלים את ארוחת הצהריים בבית-הספר?</b>
0	ארוזה בשקית רב-פעמית		
2	ארוזה בשקית פלסטיק		
3	ארוזה בכלים חד-פעמיים		
			<b>11. כיצד אתם/משפחתכם נושאים את הקניות מהמרכול?</b>
0	בשקיות רב-פעמיות שמביאים מהבית		
1	בשקיות נייר		
3	בשקיות פלסטיק חד-פעמיות		

אם קיבלתם עד 5 נקודות – העניקו לעצמכם פרס על היותכם "ירוקים" וידידותיים לסביבה!

אם קיבלתם בין 6 ל- 12 נקודות – עליכם לחשוב כיצד לשנות חלק מפעילותכם היום-יומית כדי לצמצם את השפעתכם על פליטת גזי החממה לאוויר.

אם קיבלתם מעל 12 נקודות – התחילו לחשוב "ירוק"! שנו את פעילותכם היום-יומית כדי לצמצם את השפעתכם על פליטת גזי החממה לאוויר.

- I. התייחסו לכל אחד מסעיפי השאלון, והסבירו כיצד כל אחת מהפעילויות בשאלות תורמת לפליטת גזי חממה.
- II. אילו פעילויות תסכימו לשנות בחיי היום-יום שלכם. בעשייתכם כך, בכמה תקטינו את סך הנקודות שצברתם בשאלון? השוו עם חבריכם.
- III. בנספח תוכלו למצוא רשימת "טיפים" אשר יכולים לסייע לכם להקטין את טביעת הרגל הפחמנית שלכם.
3. היכנסו לאתר: <http://www.actcool.org.il/?CategoryID=234>. תוכלו למצוא בו שלל עצות שיעזרו לכם להבין כיצד ניתן לצמצם את כמות הפליטה האישית שלכם, וגם להשפיע: בבית, במקום העבודה ובכל מקום אחר שאתם פועלים בו. באתר קיימות דרכי פעולה אפשריות לצמצום פליטות פחמן (שימו לב כי קיים יותר מעמוד אחד של דרכי פעולה). לחצו על הקישורים השונים כדי לקבל עוד מידע על אותה דרך פעולה, לדוגמא: כאשר לוחצים על הקישור "לא לכוסות החד פעמיות!" מקבלים מידע אודות כוסות חד פעמיות, על הנזק שהן גורמות ועל עצות לצמצום השימוש בהן. ערכו טבלה שתרשמו בה בעמודה אחת את דרכי הפעולה שאתם מוכנים לאמץ מיד, ובעמודה אחרת את הדברים שקשה לכם לבצע בשלב זה, ונמקו מדוע.

## התחממות כדור הארץ: לפעול או לא לפעול?

בקרב מדענים עדיין קיימת התלבטות הנוגעת לשאלה הקריטית: האם, אכן, צריך לצמצם את ההתחממות הגלובלית, והאם ניתן לעשות זאת על-ידי צמצום פליטת הפחמן הדו-חמצני.

לפי אחד התרחישים<sup>12</sup>, אם נפעל לריסון עצמי של פליטת גזים נגרום לפגיעה בצמיחה ובכושר הייצור, להעלאת מחיר הדלק ולהקצאת מיליונים לפיתוח מקורות אנרגיה חלופיים ונקיים. ואז, בחלוף כמה עשרות שנים יתברר שטעינו, שכל ההשקעה הייתה לשווא שכן אין התחממות גלובלית, או גרוע מכך - שיש התחממות, אך היא נמשכת במלוא הקיטור למרות מאמצינו הגדולים, משום שמקורה הוא בשמש ובטבע.

לפי תרחיש אחר, המשכנו לשרוף דלק ללא שיקול דעת, ובחלוף כמה עשרות שנים התברר שטעינו בגדול. כדור הארץ התחמם, הקרחונים הפשירו, מפלס הים עלה, ערי החוף הוצפו; החקלאות נפגעה בבצורת, רעב שרר בחלקים גדולים בעולם; תדירות הסופות עלתה ועוצמתן גברה, ואלפי מינים של בעלי חיים וצומח בטבע הוכחדו. יתרה מזאת: רק אז נבין כי היינו יכולים לצמצם את כל התופעות הללו לו רק היינו נוקטים בגישה שונה מלכתחילה.

## משימה 10: משחק תפקידים

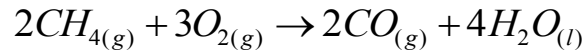
התחלקו ביניכם: חלק מחברי הקבוצה ייצגו את התרחיש הראשון המוצג בקטע, וחלק ייצגו את התרחיש השני. הציעו נימוקים בעד ונגד כל אחת מהאפשרויות.

האם הגעתם להחלטה מוסכמת בסוף הפעילות? מהי?

<sup>12</sup> מבוסס על כתבה: <http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3477201,00.html>

## הפחמן החד-חמצני

הפחמן החד-חמצני הנו אחד מן הגזים המצויים באטמוספירה. כמויות נמוכות של פחמן חד-חמצני נפלטות בטבע בטבעיות על-ידי צמחים וכתוצאה מחמצון טבעי של מתאן ( $CH_4$ ) לפי ניסוח התהליך:



אך התרומה העיקרית לפליטת CO לאוויר באה מפעילות אנושית.

פעילות זו של האדם היא: שרפת עצים להסקה, שרפת דלק לתחבורה, תהליכים תעשייתיים, הבערת אשפה ועוד.

כאשר השרפה מתבצעת בתנאים של עודף חמצן, השרפה היא שלמה והתוצרים הם מים ופחמן דו-חמצני. כאשר השרפה מתבצעת בתנאים של מחסור בחמצן, השרפה היא חלקית, והתוצרים הם מים ופחמן חד-חמצני (CO) או פח (C).

### משימה 11: ניתוח מידע

1. המקור העיקרי לפליטת פחמן חד-חמצני הוא כלי רכב. הסבירו כיצד הם גורמים לפליטה זו?
2. שערן מדוע לתעשייה, הנחשבת כגורם מזהם מרכזי, יש תרומה קטנה יחסית לכלי הרכב בפליטת CO?
3. הכמות הכוללת של CO, הנפלטת ממקורות טבעיים, קרובה לכמות ה-CO שנפלטת מפעילות האדם. בכל זאת, ה-CO הנפלט מפעילות האדם הוא המסוכן ביותר לבריאות. מה הסיבה לכך לדעתכם?
4. לפניכם מידע על השלכות בריאותיות של נוכחות פחמן חד-חמצני (CO) באוויר:

פחמן חד-חמצני נקלט בגוף דרך הריאות ונספג בדם. הוא נקשר להמוגלובין שבכדוריות הדם האדומות והקישור הוא בלתי הפיך. תפקידו של ההמוגלובין בדם, להוביל חמצן אל תאי הגוף. כאשר חודר פחמן חד-חמצני לדם, הוא מתחרה עם החמצן על הקישור להמוגלובין, וכתוצאה נקשר פחות חמצן להמוגלובין. התוצאות הבריאותיות של תופעה זו הן: הפרעות ראייה, כאבי ראש, בחילות, סחרחורות והתעלפויות, ובחשיפה ממושכת יותר, גם מוות. חשיפה לפחמן חד-חמצני עלולה לגרום למחלות לב ודם. מחסור בחמצן ללב, שפעילותו התקינה תלויה בחמצן, גורמת לעלייה בתדירות התקפי הלב.

- א. ידוע שעשן סיגריות מכיל כמות גדולה של פחמן חד-חמצני. אחוז גבוה ממנו נספג בדם המעשנים. נסו להסביר, על סמך המידע שקראתם, מדוע אחוז המעשנים הסובלים ממחלות לב גדול יותר מאחוז הלא מעשנים?

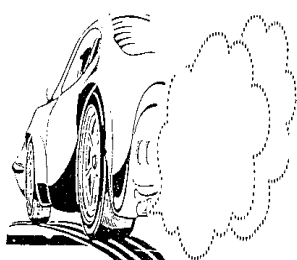


ב. הממיר הקטליטי המורכב בכל כלי הרכב החדשים בארץ (ראו פירוט בפרק על תחמוצות החנקן) הנו פיתרון טכנולוגי לבעיית ה- $CO$  הנפלט מכלי רכב בזמן שרפת הדלק במנוע. הממיר הקטליטי הופך את ה- $CO$  ל- $CO_2$ , וכך מונע את פליטת ה- $CO$  לאוויר ומקטין את ההשלכות הבריאותיות החמורות שלו. יש הרואים בפתרון זה יצירת בעיה חדשה. התוכלו לשער מה היא?

5. בשנים האחרונות חלה ירידה בריכוזי פליטת הפחמן החד-חמצני כתוצאה משיפור מערכת השרפה במנועי כלי הרכב ובכניסתם לשימוש של ממירים קטליטיים. עם זאת, עדיין קיימת סכנה בריאותית עקב חשיפה לריכוזים גבוהים של פחמן חד-חמצני.

סמנו בכל אחד מהסעיפים שלפניכם היכן תהיה סכנה גדולה יותר לבני-אדם משאיפת  $CO$ ,

#### ומדוע?



- א. בתל-אביב או בדימונה?
- ב. ברחוב ראשי בתל-אביב או ברחוב צדדי?
- ג. בחניון תת-קרקעי או בחניון פתוח?
- ד. בשעות של פקקי תנועה או בשעות של תנועה רגילה?
- ה. ליד מכונית חדשה כשהיא נוסעת או ליד מכונית ישנה מאוד כשהיא נוסעת?

### **משימת סיכום**

הכינו סיכום של הפרק באמצעות מצגת, כרזה (פוסטר) או משחק לימודי. התייחסו בעיקר לנושאים האלה:

- ההתחממות העולמית – התופעה, סיבות ומגמות, התמודדות עם הבעיה בקנה מידה עולמי, מקומי (ישראל) ואישי
- מחזור הפחמן בטבע ומשמעותו לתופעת ההתחממות העולמית
- טביעת רגל פחמנית
- בעיית פליטת  $CO$

יש להוסיף מידע עדכני מעבר למידע שבפרק. מומלץ להיעזר באתר של המשרד להגנת הסביבה, באתר איגוד ערים חיפה ובאתר עמותת אדם טבע ודין.

**המלצה:** באתר: <http://www.sustainability.org.il/home/energy-tips>

יש מגוון עצות לחיסכון באנרגיה. התייחסו בסיכומכם למידע מאתר זה. לדוגמה: טיפים ועצות מקצועיות לצרכנות נבונה של מוצרי חשמל ביתיים (תאורה, חימום מים, בישול ואפייה ועוד)


## ה"חור" באוזון



## ”ריקוד” האוזון

### משימה 1: ניתוח מידע

לפניכם קטע משירו של אריאל זילבר: ”ריקוד האוזון”:



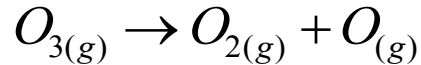
... ויש לי עוד סיפור כמו זה האחרון  
 על גז כזה שנקרא אוזון  
 והוא ממלא את השמיים  
 וסימנו O<sub>3</sub> ולא O<sub>2</sub>  
 והוא הוא ההגנה מפני השמש והקרינה  
 ואם לא נשמור עליו במהרה  
 הוא יעלם מהאטמוספירה  
 ויש עוד גז שאני לא מכיר  
 והוא נמצא במטהרי אוויר  
 וכל ספריי - כפי שאומרים באנגלית  
 ומי שלא משתמש בו שיקום ויגיד  
 וכשפסס... משתחרר ועולה לשמיים  
 אוכל ונוגס מן האוזון  
 ואם הוא לא יהיה פה במהרה  
 תהיה לנו כאן איזה תבערה  
 והמבול יבוא שנית  
 וזה עיקר התחזית ...

1. סמנו מילים או משפטים הקשורים לתכונותיו של האוזון או לפעולתו.
2. מהי הבעיה המתוארת בשיר?
3. האם הבעיה המתוארת בשיר היא בעיה מקומית או עולמית? הסבירו.
4. מהו תפקיד האוזון לפי השיר?
5. חברו לפחות שתי שאלות המתעוררות מתוכן השיר. האחת - שאלה שהתשובה עליה נמצאת בשיר והשנייה - שמעוררת מחשבה והתשובה עליה אינה חד-משמעית. נסו לענות עליהן.

## האוזון ופעילותו באטמוספירה

כאשר מתרחשות התפרקות חשמליות באוויר, כמו ברקים, חלים שינויים בגז החמצן. מחמצן, שהוא גז חסר ריח לגמרי, מתקבל גז אוזון שמצטיין בריח חריף. טמפרטורת הרתיחה של האוזון גבוהה משל החמצן וגם צפיפותו גדולה יותר.

מולקולת האוזון אינה יציבה ונוטה להתפרק לפי ניסוח התהליך שלפניכם:



החמצן האטומרי  $O_{(g)}$  מקנה לאוזון את פעילותו הרבה, ולכן האוזון הנו חומר מחמצן חזק. אטום חמצן זה פעיל במיוחד כלפי חומרים אורגניים, כמו תאי צמחים ובעלי-חיים, וכך פוגע בהם. מסיבה זו, האוזון מסוכן לנשימה, אך יחד עם זאת הוא גם בעל כושר חיטוי חזק ולכן משמש לחיטוי מי שתייה ולהפגת ריחות רעים.

האוזון נוצר באטמוספירה גם כאשר ישנם ריכוזים גבוהים של מזהמים כמו תחמוצות חנקן ופחמימנים, אשר יוצרים את הערפית הפוטוכימי בהשפעת קרינת השמש. ערפיח זה מכיל חומרים מחמצנים ובהם האוזון. אוזון זה מכונה "אוזון רע" בשל המצאותו בשכבת האטמוספירה הנמוכה שאנו נושמים בה, וזו השפעתו המזיקה על הנשימה.

לעומת זאת, יש חשיבות רבה לאוזון בשכבות הגבוהות של האטמוספירה, שם הוא הוא שכבת מגן הבולעת את הקרינה האולטרה-סגולה (U.V), וכך היא מגינה על היצורים החיים על פני כדור הארץ. בשל כך, האוזון המצוי בשכבות אלו של האטמוספירה מכונה "האוזון הטוב". לו הקרינה הייתה מגיעה אלינו במלוא עוצמתה, היא הייתה גורמת לכוויות עור קשות, לסרטן, להריסת תאים חיים ולמוות.

### משימה 2: ניתוח מידע

1. סכמו את תכונות האוזון בטבלה. התייחסו לתכונות התורמות ליצורים חיים ולתכונות המזיקות ליצורים חיים.
2. כיצד ייתכן שגז האוזון מסוכן לבני האדם מחד, ומגן עליהם מאידך? הסבירו.
3. לפניכם קריקטורה שפורסמה בעיתונות:



- א. מה מתארת הקריקטורה?  
 ב. מהו הקשר בין תוכן הקריקטורה ובין בעיית האוזון?  
 ג. מהי תרומתם של אמצעי התקשורת לפתרון בעיות מסוג זה? הסבירו וחוו את דעתכם.  
 ד. חברו סיסמא לפרסום בעיתונות, שמטרתה להציג את בעיית האוזון.

## סכנת הקרינה האולטרה-סגולה

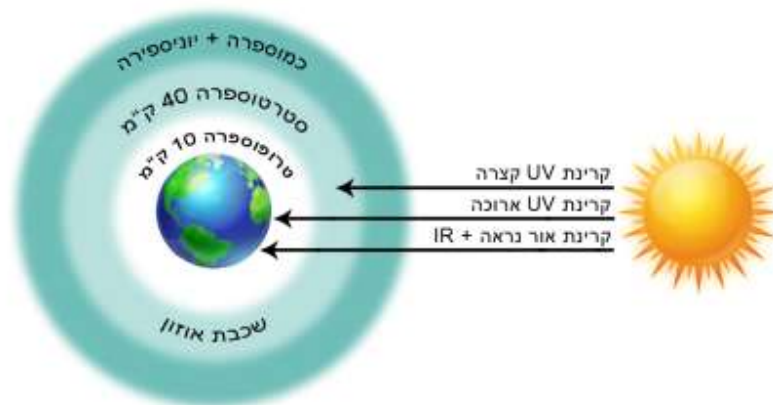
אחת הפגיעות האפשריות של הקרינה האולטרה-סגולה היא פגיעה בחומר התורשתי של התא - DNA. פגיעה כזאת, הנקראת **מוטציה**, היא חמורה במיוחד. מוטציה עלולה לגרום לשינוי בתכונות התא ועל-ידי כך להיות מועברת לכל התאים שיווצרו מתא זה, בתהליך של חלוקת תא. אם המוטציה קרתה בתאי המין (זרע או ביצית) של צמח או בעל-חיים, היא עלולה לעבור גם לצאצאים שיתפתחו מהם. מחלת הסרטן נגרמת כתוצאה מהתרחשותה של מוטציה מסוג מסוים בתא אחד. עקב המוטציה משתנות תכונות התא: הוא מתרבה ללא בקרה, מסוגל להתנתק מהרקמה שהוא שייך אליה ולהתרבות במקומות אחרים בגוף (גרורות). כל התאים שהתרבו מן התא הסרטני, יהיו גם הם סרטניים.

### משימה 3: ניתוח מידע

1. קרינה אולטרה-סגולה, בגלל תכונתה לגרום למוטציות בתא עלולה לגרום, בין היתר, למחלת הסרטן. הסבירו כיצד?
2. בתאי העור נמצא חומר צבע (פיגמנט) הבולע חלק מהקרינה האולטרה-סגולה, וכך אינו מאפשר לה לחדור פנימה לתאים. למי ה"חור" באוזון הוא סכנה גדולה יותר - לבעלי עור כהה או לבעלי עור בהיר? מדוע?

### משימה 4: ניתוח מידע מתרשים

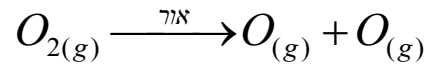
באיור מתוארות שכבות האטמוספירה המקיפות את כדור הארץ והקרינה המגיעה אליהן. קיימים שני סוגים עיקריים של קרינת UV: קרינת UV-A (בעלת אורך גל ארוך) וקרינת UV-B (בעלת אורך גל קצר).



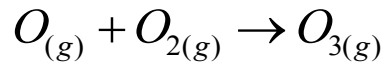
- א. I. איזו קרינת UV חודרת לשכבת הטרופוספירה שאנו חיים בה?  
 II. איזו קרינת UV "נבלעת" על-ידי שכבת האוזון ואינה חודרת לטרופוספירה?
- ב. אוזון נמצא בשכבת הסטרטוספירה, והוא נוצר גם בשכבת הטרופוספירה כתוצאה מזיהום אוויר (ראו פרק תחמוצות החנקן).  
 I. באיזו שכבה רצוי ריכוז נמוך של אוזון? מדוע?  
 II. באיזו שכבה רצוי ריכוז גבוה של אוזון? מדוע?

## היווצרות ופירוק של אוזון בסטרטוספירה

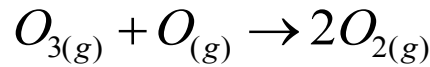
קרינת שמש חזקה (קרינת UV) גורמת **לתגובות פוטוכימיות** ולשחרור חמצן אטומרי (אטום חמצן שלא קשור בתרכובת כימית). לדוגמה:



החמצן האטומרי יכול לתקוף מולקולות חמצן וליצור אוזון לפי הניסוח הזה:



האוזון נתקף אף הוא ע"י חמצן אטומרי ומתפרק לפי הניסוח הזה:

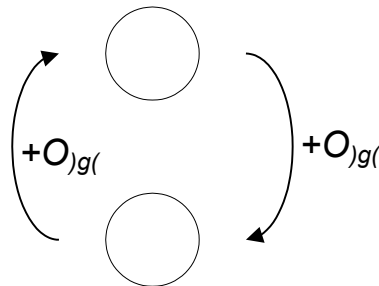


כך נוצר מעגל של היווצרות ופירוק.

תהליכי ייצור ופירוק האוזון הם דוגמאות ל**תהליכים הפיכים**, המנוגדים זה לזה. תהליכים אלו מתרחשים בעת ובעונה אחת ולכן שומרים על מצב מאוזן - מצב של שיווי משקל דינמי.

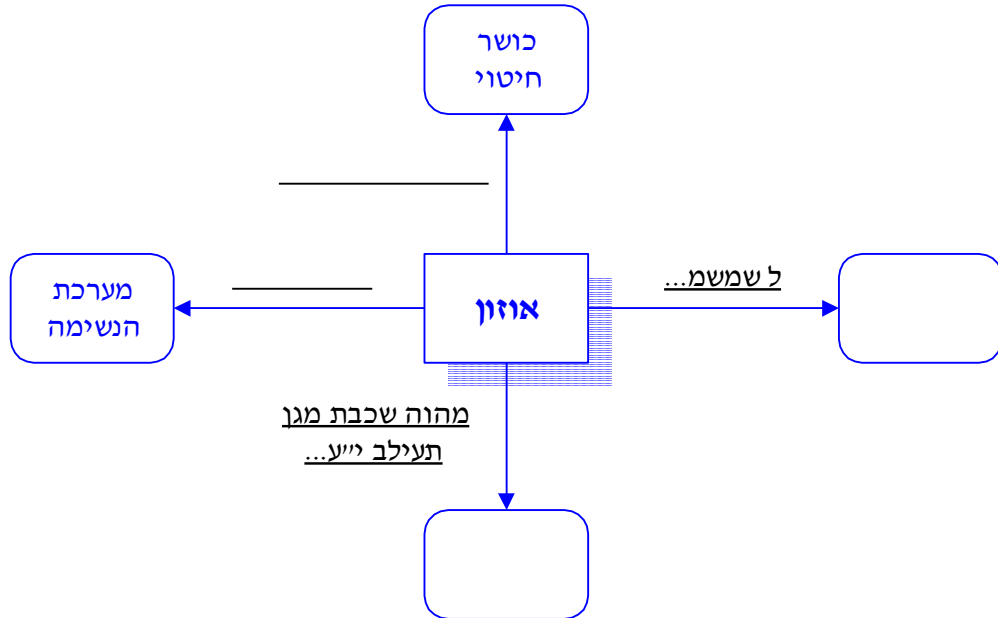
## משימה 5: ניתוח מידע

1. השלימו את המעגל הבא, המתאר את היווצרות האוזון בסטרטוספירה ואת פירוקו (היעזרו בתהליכים הנתונים בקטע המידע שלעיל).



2. האם סביר שבמערכת טבעית (ללא התערבות חיצונית) ריכוז האוזון בסטרטוספירה ילך ויגדל? מדוע?

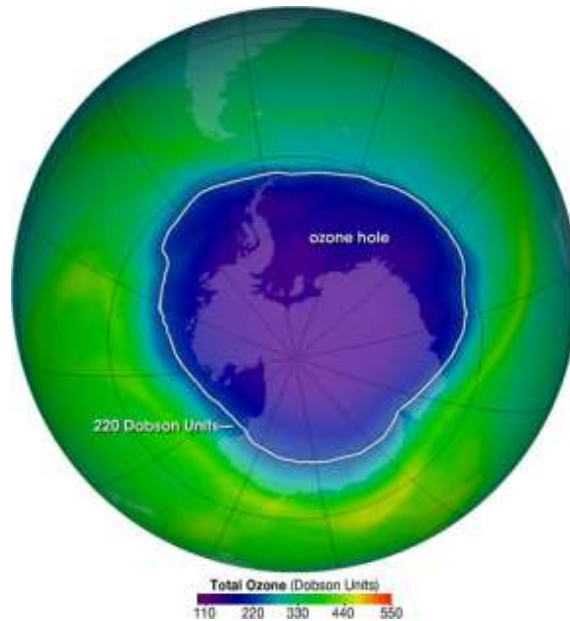
3. לפניכם מפת מושגים המסכמת את המידע שלמדתם על האוזון, עד כה. בחלק מן המפה חסרים מושגים ובחלקה חסרות מילות הקישור בין המושגים. השלימו את מפת המושגים.



## ה"חור" באוזון

מדעני הרשות האמריקנית לאוקינוגרפיה ואטמוספירה (NOAA) מנטרים את שכבת האוזון מאז שנת 1962 ולאורך השנים הם גילו כי שכבת האוזון מעל הקוטב הדרומי מדלדלת. שכבת מולקולות האוזון נמצאת באטמוספירה בגובה שבין 10-40 ק"מ מעל פני הקרקע. התופעה של הידלדלות בשכבת האוזון, הקרויה ה"חור" באוזון, התגלתה בתחילת שנות השמונים של המאה ה-20 מעל אנטארקטיקה. בעקבות מדידות שנתיות וצילומי לוויין של שכבת האוזון באזור, נמצא כי בתחילת האביב (בחודשים אוגוסט עד אוקטובר), בחצי הכדור הדרומי, יורדת שכבת האוזון במידה רבה ולאחר מכן עולה שוב, אך לא שבה לרמה הקודמת. עד שנת 1979 לא ירדה שכבת האוזון מעל אנטארטיקה מתחת ל-220 דובסון<sup>13</sup>. בשנים שלאחר מכן, נערך מעקב אחר שכבת האוזון, והאזורים שהשכבה בהם קטנה מערך זה, נחשבים כ"חור" בשכבת האוזון. באיור שלפניכם מוצגת הדמייה של כדור הארץ ושל שכבות האוזון שמעליה, כפי שנמדד באוקטובר 2004 באזור הקוטב הדרומי. הצבע הכחול מסמן שכבת אוזון נמוכה מ-220 דובסון, הנחשבת כ"חור" בשכבת האוזון, הצבע הירוק מסמן שכבת אוזון תקינה.

### הדמייה של כדור הארץ (נמדד באוקטובר 2004) באזור הקוטב הדרומי



מדידות שנעשו החל משנת 1985 באמצעות לוויין העלו שה"חור" גדל ומעל חלקים של אנטארקטיקה, יבשת הקרח הדרומית, ירד שיעור האוזון באטמוספירה מתחת ל-30% מרמותיו הנורמליות.

<sup>13</sup> דובסון היא יחידת מידה לאוזון. יחידת דובסון אחת היא מספר מולקולות האוזון הנדרשות ליצירת שכבת אוזון של 0.01 מילימטר בטמפרטורה של 0 מעלות צלזיוס ובלחץ של אטמוספירה אחת.

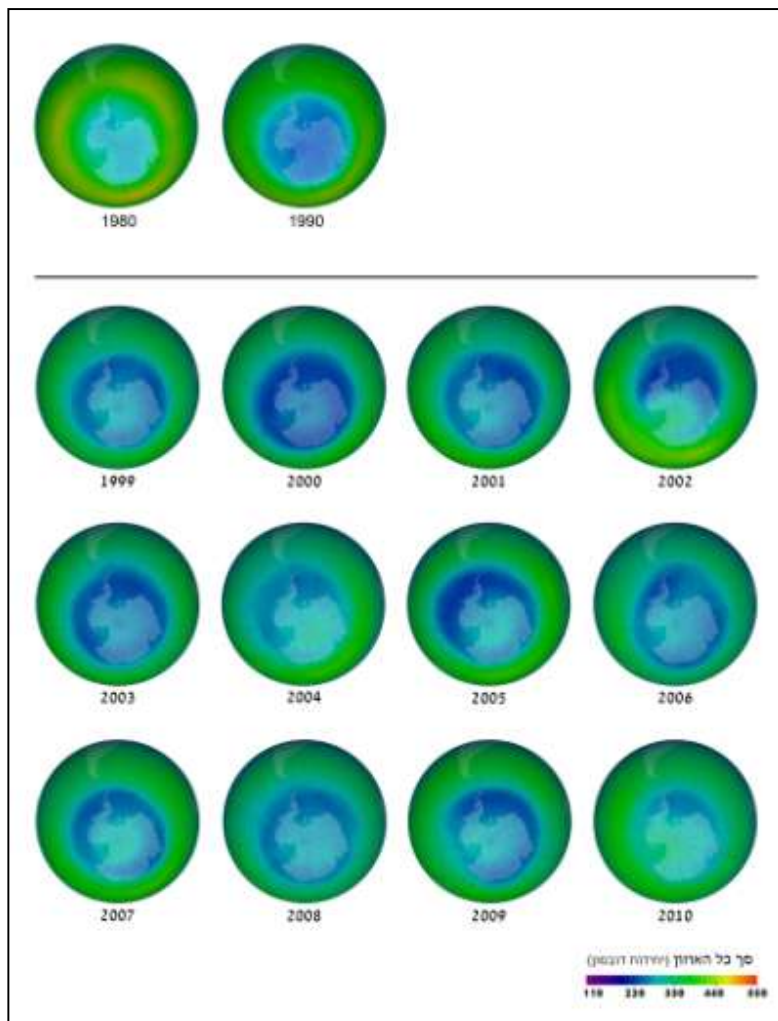


מדענים של נאס"א דיווחו, כי באוקטובר 2006 ה"חור" באוזון שבקוטב הדרומי שבר את השיא מבחינת שטח ועומק. מעל מזרח אנטארקטיקה נמדדה שכבת אוזון של 85 דובסון בלבד. גודל ה"חור" היה 11.4 מיליון מיילים ריבועים (מדידה ב-9 באוקטובר) כאשר המדידה הממוצעת בחודש הקודם הייתה 300 יחידות.

## משימה 6: איתור וניתוח מידע

1. חברו שלוש שאלות אשר מעוררות עניין מבחינתכם בעקבות קריאת המידע בקטע, ואשר אין עליהן תשובה.
  - I. מדוע לדעתכם נקראת התופעה בשם ה"חור" באוזון?
  - II. הציעו שם נוסף לתיאור התופעה, ונמקו את הצעתכם.
3. באתר של נאס"א בכתובת: [http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/monthly\\_1999-08.html](http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/monthly_1999-08.html) ניתן למצוא הדמיות של ה"חור" באוזון לאורך השנים וכן את השינויים היומיים בשכבת האוזון במהלך חודשי האביב בקוטב הדרומי.
 

לפניכם איור המציג הדמיות של ה"חור" בשכבת האוזון בחודש אוגוסט בשנים: 1980, 1990, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010:



- I. הכנסו לאתר, ונסו לראות בצורה מוגדלת את ההדמיות לאורך השנים.
- II. מה תוכלו ללמוד בנוגע לתופעה לאורך העשורים האחרונים?

## השפעת ה"חור" באוזון על חיינו

שכבת האוזון באטמוספירה מגינה על יצורים חיים מפני נזקים הנגרמים על-ידי הקרינה האולטרה-סגולה שמקורה בשמש, ויכולה לגרום לסרטן עור ולירוד בעין (קטרקט). חיות רבות סובלות ממחלות ומתות כתוצאה מהקרינה המוגברת של השמש. קיים חשש, שחיות מסוימות אף תיכחדנה במשך השנים. בהרי האלפים מתים צמחים נדירים. באחד ההרים נכחדו כבר 88 זני צמחים מתוך 100.

### משימה 7: ניתוח מידע

1. מדוע הידלדלות בריכוז האוזון באטמוספירה עלולה לגרום לפגיעות בעיניים (כגון: קטרקט) ובעור (כגון: סרטן עור)?

2. לפניכם משפטים אחדים הלקוחים ממאמר. המשפטים עורבבו.



◆ הממלא תפקיד מרכזי בתהליך הפוטוסינתזה.

◆ בתהליך הפוטוסינתזה נקלטת אנרגיה מהשמש.

◆ הידוע בכינויו 32KDa-D1.

◆ אנרגיה זו משמשת

◆ מצאו כי קרינה אולטרה-סגולה גורמת לשבירתו של חלבון

◆ לתהליכי יצירה של חומרים אורגניים המרכיבים את הצמח ומאפשרים את קיום החיים עלי אדמות.

◆ ירידה בתהליך זה תגרור ירידה משמעותית ביבולים החקלאיים.

א. כתבו את המאמר בסדר הגיוני.

ב. תנו כותרת למאמר.

ג. מהו הנזק הצפוי משבירתו של החלבון 32KDa-D1?

ד. מהו הגורם המשותף למחלת סרטן העור באדם ובעיית שבירת החלבון בצמחים?

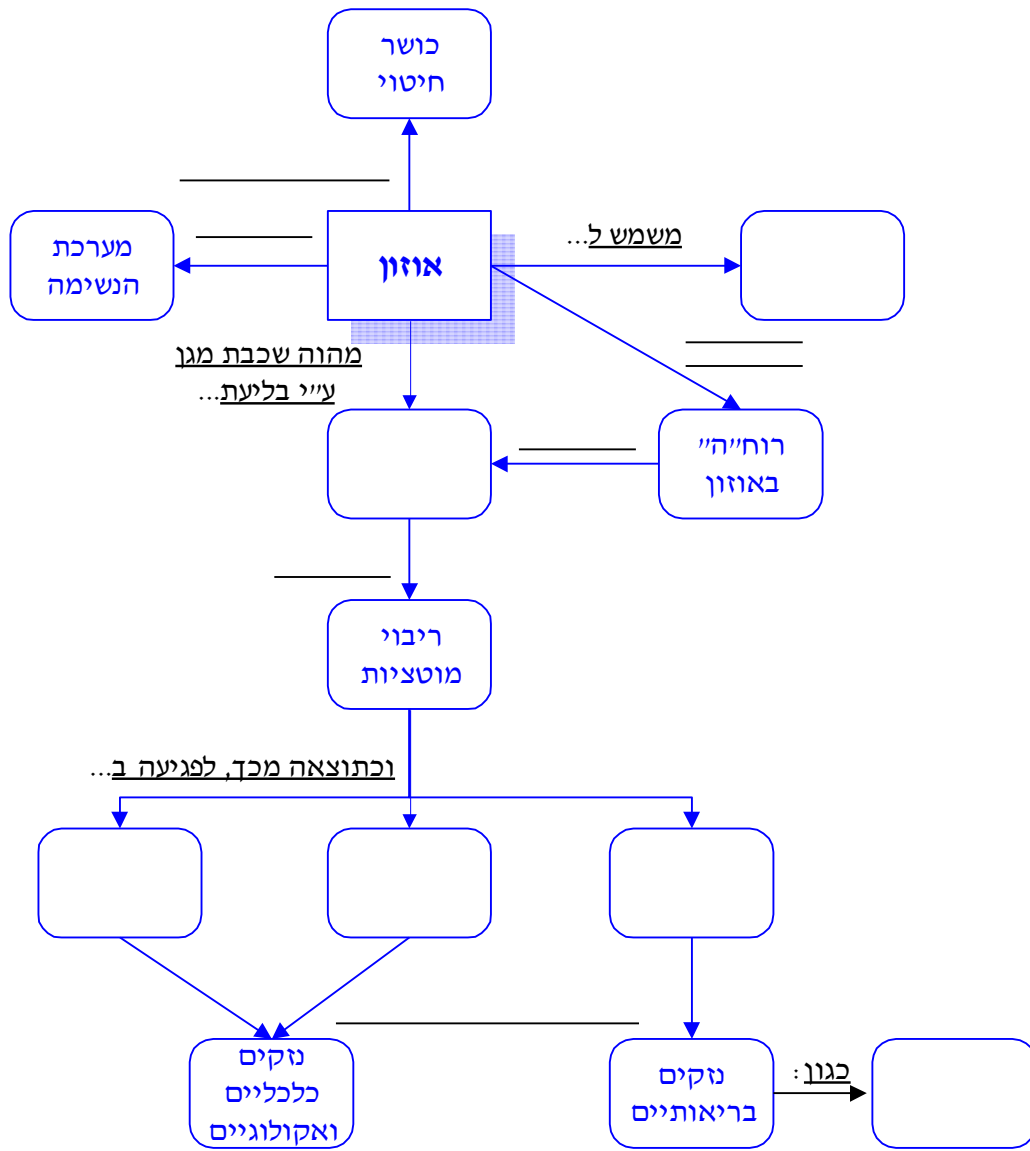
ה. הסבירו מדוע צפויה ירידה ביבולים חקלאיים, ומה עלולות להיות ההשלכות של ירידה זו על חיינו?

3. לפניכם הרחבתה של מפת המושגים שהופיעה במשימה 5. השלימו את המושגים החסרים או את מילות הקישור החסרות.

מושגים חסרים: אדם, בעלי-חיים, קרינה אולטרה-סגולה, הפגת ריחות רעים, צמחים, סרטן עור.

מילות קישור חסרות: האלה לידי ביטוי ב..., פוגע ב..., הנו בעל, קשור בתופעת, הגורמת

ל..., מגביר את חדירת ה...



## הפריאונים (CFC) ושימושיהם

הלו-פחמימנים הם חומרים כימיים סינתטיים (מעשה ידי האדם), המכילים פחמן ואטומים של הלוגנים כמו: ברום, כלור ופלואור.

הלו-פחמימנים המכילים פלואור וכלור נקראים פחמימנים כלורופלואורים (או בקיצור CFC) ומוכרים בשם המסחרי "פריאונים".

חומרים אלו אינם פעילים מבחינה כימית ואינם רעילים. הם יוצרו לראשונה בשנת 1923, במטרה לשמש חומרי קירור במערכות קירור. מאוחר יותר הורחב השימוש בהם.

במיכלי תרסיסים (ספריי), הפריאונים משמשים כחומרי הדף וגורמים לפיזור החומר המצוי במיכל. כמו כן משמשים הפריאונים כמקציפים של חומרים פלסטיים שונים המשמשים חומרי בידוד (קלקר), בעיקור ציוד רפואי וכממסים ונוזלי ניקוי בתעשייה.



בטבלה הבאה נתונים של פריאונים אחדים ושימושיהם שלהם:

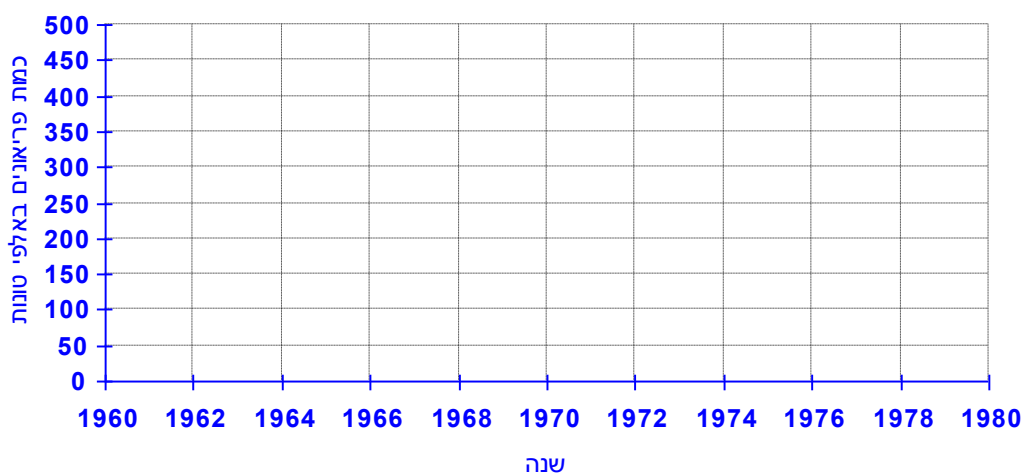
שם החומר	נוסחה כימית	שימושים עיקריים
CFC11	$CFCl_3$	נוזל קירור במזגנים ובמקררים, תרסיסים, ממס, מקציפי פלסטיק
CFC12	$CF_2Cl_2$	כנייל
CFC13	$C_2Cl_3F_3$	ממס, נוזל קירור
מתיל-כלוריד	$C_2H_3Cl_3$	ממס
פחמן טטרא-כלורי	$CCl_4$	חומר גלם בייצור CFC
הלון 1211	$CF_2Cl_2$	נוזל לכיבוי אש

ארצות המערב הן היצרניות העיקריות של הפריאונים לסוגיהם, וארצות הברית, במיוחד. בטבלה מובאים נתונים על שיעור הייצור של הפריאונים CFC11 ו-CFC12 בארצות הברית וביתר הארצות בעולם, אשר מדווחות על ייצורם של חומרים אלה, בין השנים 1960-1980.

השנה	ארצות הברית (כמות באלפי טונות)	שאר העולם (כמות באלפי טונות)
1960	110	40
1965	170	105
1970	265	225
1975	380	440
1980	195	430

## משימה 8: ניתוח מידע מטבלה ומגרף

1. ערכו רשימה של מוצרים המכילים פריאונים (לדעתכם), שאתם משתמשים בהם בבית ובחיי היום-יום.
2. הסתכלו במדף מטהרי אוויר ובספריי לשיער במרכול הקרוב אליכם. האם הם מכילים פריאונים כחומרי דחף? התייחסו למוצרים אחדים ולחברות שונות.
3. שרטטו גרף המבטא את השינוי בייצור CFC11 ו- CFC12 בשנים 1960–1980 בארצות הברית. הוסיפו גרף (רצוי בצבע שונה) עבור שאר ארצות העולם.



ענו על השאלות לפי צורת הגרף:

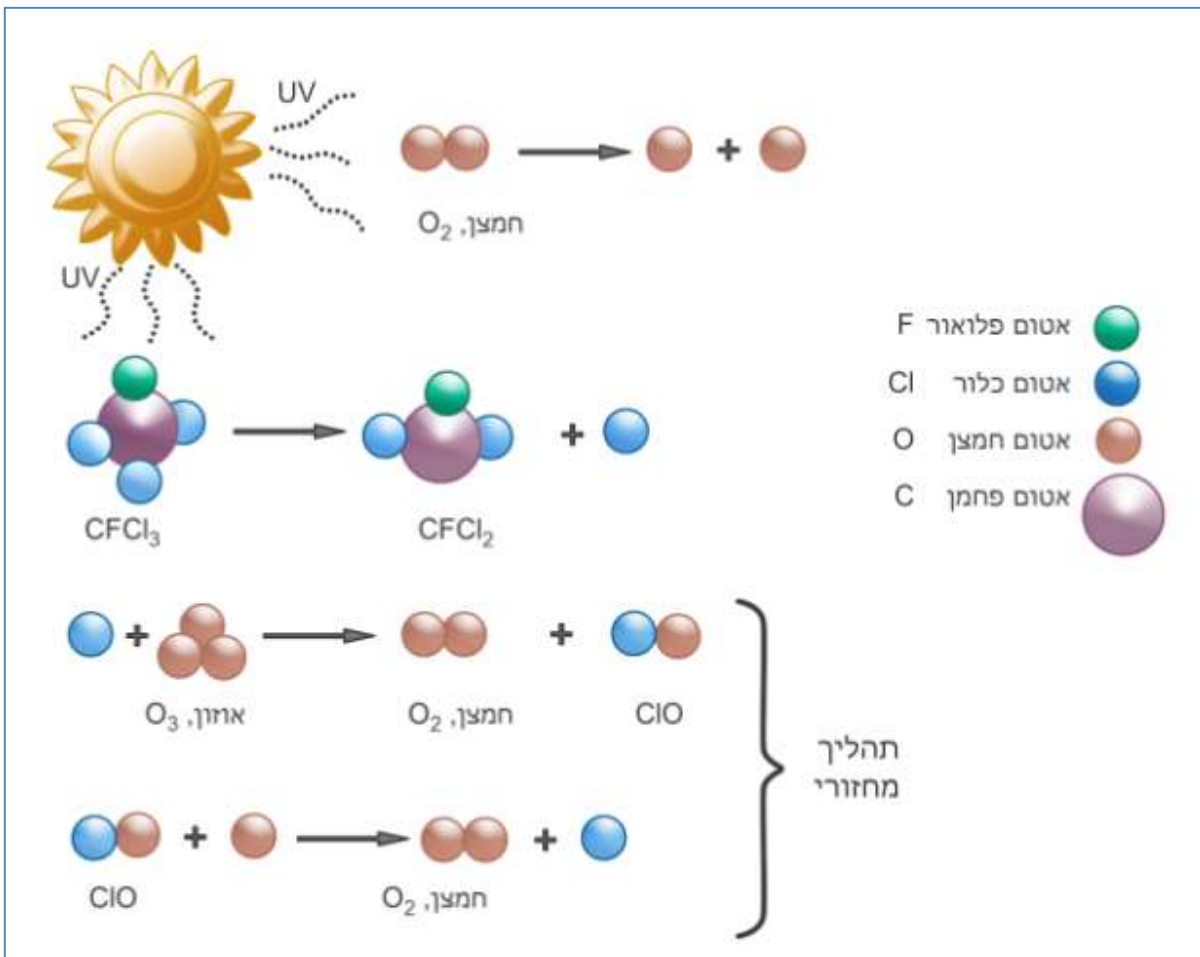
- א. אילו שינויים חלו בכמויות CFC שיוצרו בארצות הברית במהלך שנים אלו?
- ב. האם מסתמנת מגמה זזה גם בשאר ארצות העולם?
- ג. מה לדעתכם יכולה להיות הסיבה למגמת הירידה בשימוש ב-CFC?

## מה הנזק בשימוש בפריאונים?

השימוש הנרחב בפריאונים נובע מיציבותם מבחינה כימית ומהעובדה שאינם רעילים. חומרים אלו, המתפזרים באוויר, אינם מגיבים עם הגזים שבו ואינם מתכלים. פריאונים המשתחררים כעת יהיו באטמוספירה עוד כ-50 שנה, עד שיתפרקו.

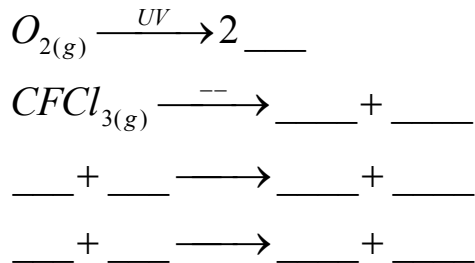
בשנות השבעים של המאה ה-20 מצאו חוקרים כי מולקולות CFC המשתחררות לאטמוספירה, מגיעות לסטרטוספירה (שהאוזון מצוי בה) ומתפרקות בה בהשפעת קרינה אולטרה-סגולה, תוך שחרור אטום כלור חופשי Cl. אטום זה פעיל מאוד מבחינה כימית ומגיב עם מולקולות האוזון  $O_3$  תוך יצירת כלור חד-חמצני ClO ומולקולת חמצן  $O_2$ . התוצאה היא הידלדלות שכבת האוזון, ועלייה בשיעור הקרינה האולטרה-סגולה החודרת לכדור-הארץ. באיור זה מוצג תהליך פירוק האוזון על-ידי פריאון.

### תהליך פירוק מולקולות אוזון על-ידי מולקולת פריאון



## משימה 9: ניתוח מידע כימי וחשיבה יצירתית

1. היעזרו באיור המתאר את פירוק האוזון, והשלימו את סמלי המולקולות והאטומים החסרים במשוואות הבאות:



2. איזה אטום מפרק את מולקולות האוזון? מהם תוצרי הפירוק?
3. אטום בודד של כלור יכול לגרום לפירוקן של עד 100,000 מולקולות אוזון. הסבירו כיצד.
4. רופאי השיניים משתמשים בתרסיס המכיל דוכלורו-דופלואורו-מתאן ( $CF_2Cl_2$ ) לבדיקת רגישות השן לקור.
- א. כבני נוער המודעים לאיכות הסביבה, כיצד הייתם מציגים בפני רופאי השיניים את הבעיה הסביבתית שנגרמת כתוצאה משימוש בחומר זה?
- ב. איזה חומר/חומרים לבדיקת רגישות השן לקור, הייתם מציעים לרופאי השיניים כתחליף טוב לפריאון? מהם יתרונותיו ומהם חסרונותיו של כל חומר שהצעתם?
5. כיום מצויים בשוק, מוצרים רבים המכילים תחליפים לפריאון. הציעו ועצבו תווית/תוויות אשר מציינות, שהמוצר איננו מכיל פריאון והמסבירות מדוע עדיף לקנות אותו.

## התמודדות העולם עם בעיית ה"חור" באוזון - פרוטוקול מונטריאול

בשנת 1977 ריכזה התוכנית הסביבתית של האו"ם תוכנית להגנה על שכבת האוזון, שהעלתה למודעות הציבור את הנזק שנגרם לשכבת האוזון כתוצאה משימוש בחומרים המכלים את שכבת האוזון. בשנת 1985 נחתמה אמנת וינה להגנה על שכבת האוזון. האמנה הצביעה על אחריותן של המדינות לשמירה על בריאות התושבים והסביבה לנוכח הידלדלותה של שכבת האוזון. הצדדים לאמנה הצהירו על נכונותם לשתף פעולה במחקרים בנושא, ולהחליף מידע על ייצור ופליטות של CFC וחומרים אחרים הפוגעים בשכבת האוזון. אמנה זו יצרה את המסגרת הכללית לפרוטוקול מונטריאול. מאז נכנס הפרוטוקול לתוקף בשנת 1989, נוספו לו חמישה תיקונים כדי להוסיף עוד חומרים מסוכנים לרשימה, להקים מנגנון לסיוע כספי להעברת טכנולוגיות למדינות מתפתחות ולהקים מערכת לרישוי החומרים לייצוא ויבוא.

על פרוטוקול מונטריאול חתומים עד דצמבר 2010, 196 מדינות, בהן ישראל. המדינות החתומות על הפרוטוקול מחויבות לפעילויות הבאות:

- לשתף פעולה באמצעות תצפיות שיטתיות, מחקר וחילופי מידע, כדי להבין טוב יותר את השפעותיהן של פעילויות אנושיות על שכבת האוזון, ולהעריך את ההשפעות הנובעות משינוי בשכבת האוזון, על בריאות האדם ועל הסביבה.
- לאמץ אמצעים תחקיטיים או מנהליים. לשתף פעולה בתיאום תכניות מדיניות: להגביל, לצמצם או למנוע פעילויות אנושיות בתחומי השיפוט שלהם או בשליטתם, אם לפעילויות אלה יש, או שעלולות להיות להן, השפעות שליליות הנובעות משינוי, או האפשרות לשינוי של שכבת האוזון.
- לשתף פעולה בניסוח אמצעים, נהלים ותקנים מוסכמים ליישום אמנה זו, במגמה לאמץ את הפרוטוקולים ואת הנספחים.
- לשתף פעולה עם גופים בין-לאומיים מוסכמים כדי ליישם ביעילות את האמנה ואת הפרוטוקולים, שהם צד להם.

פרוטוקול מונטריאול, המחייב משפטית, הגדיר לוח זמנים להפחתת או להפסקת השימוש בחומרים הפוגעים באוזון. ההערכה היא כי יישום הפרוטוקול עד שנת 2050 יחזיר את רמות האוזון לאלו שנמדדו בזמן שאובחן ה"חור" באוזון בשנות ה-70 של המאה ה-20.

**כיום נחשב הפרוטוקול כסיפור הצלחה של שיתוף פעולה בין-לאומי לטיפול בבעיה סביבתית עולמית.**

## **משימה 10: ניתוח מידע וחשיבה ביקורתית**

1. ההתמודדות עם בעיית ה"חור" באוזון הנה התמודדות כלל עולמית. הסבירו מדוע.
2. המדינות הראשונות שהתחייבו להפסיק את ייצור הפריאונים לחלוטין היו: ארה"ב, גרמניה ובריטניה. העלו השערות מדוע.
3. בעקבות מסע הסברה עולמי וחתימה על פרוטוקול מונטריאול, קטן השימוש בפריאונים בכל העולם ובמיוחד במדינות מפותחות. פעולה זו אינה מספקת פתרון מיידי לבעיית האוזון. הסבירו מדוע.
4. שיתוף הפעולה העולמי להפחתת השימוש בחומרים הפוגעים בשכבת האוזון, צמצם את השפעת האנושות על שכבת האוזון, ותצפיות מאוחרות הראו כי קצב היעלמות האוזון ירד בשנים האחרונות. אולם, אנו לא הגורם היחיד המשפיע על היעלמות שכבת האוזון. זוהי מערכת המושפעת מגורמים רבים כמו "סערות-שמש" מהחלל החיצון ודפוסי רוחות המשפיעים מתוך כדור הארץ. האם עובדה זו מקטינה או מעלה את מחויבות העולם להפסקת השימוש בחומרים הפוגעים באוזון? נמקו את תשובתכם.
5. פרוטוקול מונטריאול נחשב כהצלחה של שיתוף פעולה עולמי. ההתמודדות עם בעיית ההתחממות העולמית מחייבת גם כן שיתוף פעולה עולמי, אך ההצלחה בתחום זה קטנה בהרבה. העלו השערות מדוע.



## משימה 11: חקר אירוע

לפניכם קטעים מכתבה שפורסמה ב-Ynet ביוני 2008. קראו בעיון והדגישו בקו, מילים או משפטים חשובים לדעתכם.

### שיא ישראלי בצריכת מתיל ברומיד

מתיל ברומיד היא תרכובת גז רעילה המשמשת לחיטוי ולהכשרת קרקע חקלאית. השימוש במתיל ברומיד נאסר לשימוש בארצות מתפתחות בפרוטוקול מונטריאול (שגם ישראל חתומה עליה) עקב פגיעתו באוזון. בכינוס של ועדת הפנים והגנת הסביבה בכנסת ביוני 2008, הוצג כי ישראל היא אחת היצרניות הגדולות בעולם של מתיל ברומיד וגם צרכנית גדולה שלו. ארצות-הברית היא היצרנית והמשתמשת הראשית במתיל ברומיד, וצורכת כ-3,000 טון ממנו בשנה, לעומת 600 טון בישראל. עם זאת, הצריכה לנפש של המתיל ברומיד בישראל גדולה ביותר - פי עשר מזו האמריקנית. במדינות המפותחות מקובלת צריכה נמוכה ביותר. לדוגמה: באוסטרליה משתמשים בטון אחד בשנה, בקנדה בשבעה טון, במדינות האיחוד האירופי ב-240 טון וביפן ב-290 טון בשנה.

ה'שיא' הישראלי נובע מהצורך להכשיר תכופות את הקרקע החקלאית המועטה במדינה. הדבר, כך נאמר בוועדה, מחייב לחטא את הקרקע בגז הרעיל לפני החלפת הגידולים החקלאיים. זאת, למנוע הדבקת צמחים בבקטריות ובחיידקים האופייניים לגידולים שקדמו להם. החיטוי מתבצע באמצעות הזרמה של הגז מתחת ליריעות פלסטיק, אולם חלק גדול ממנו מתנדף ופוגע בשכבת האוזון.

החל מינואר 2005, השימוש במתיל ברומיד הוגבל לשימושים קריטיים בלבד: שימושים שטרם נמצאו להם תחליפים ראויים (מההיבט הטכני, כלכלי או סביבתי/בריאותי). ישראל מגישה את בקשותיה לשימושים קריטיים בחקלאות ובתברואה לחוות דעת הוועדה המקצועית בפרוטוקול מונטריאול. בהתאם להערכות הגורמים המקצועיים להפסקת השימוש במתיל ברומיד בישראל, נקבע כי שנת 2010 תהה השנה האחרונה לשימוש במתיל ברומיד לצרכים קריטיים בתברואה, ולא תוגשנה בקשות לשימושים קריטיים בחקלאות לאחר שנת 2011.

מעובד מתוך:

<http://www.ynet.co.il/articles/1,7340,L-3556781,00.html>

(היום הבינלאומי לשמירה על האוזון הסטרטוספרי - 16/9/2010) <http://sviva.gov.il>

1. חברו שתי שאלות על הכתבה שקראתם - שאלה שהתשובה עליה נמצאת בכתבה והשנייה שאלה המעוררת בכם עניין, והייתם מעוניינים לקבל תשובה עליה.
2. מה ידוע על המתיל ברומיד? חפשו מידע כללי ומידע כימי על מתיל ברומיד.
3. העלו השערה, מדוע דווקא בישראל מייצרים מתיל ברומיד בכמות רבה? (רמוז, חישובו על אוצרות הטבע בישראל)
4. העלו טיעונים בעד ונגד המשך הייצור והשימוש במתיל ברומיד בישראל.

5. עם הצגת המידע בועדה בכנסת, התברר גם כי הוועדה המקצועית הבינלאומית בפרוטוקול מונטריאול עדיין לא קבעה יעדים עולמיים לצמצום השימוש במתיל ברומיד. בעקבות כך הועלתה טענה כי אם הוועדה לא תיקבע היקפים ולוח זמנים לצמצום צריכת מתיל ברומיד, אזי "המאמץ הבינלאומי לצמצום צריכת הגז יהיה לשווא, וה"חור" באוזון ימשיך להתרחב".  
חו דעתכם על טענה זו ונמקו.

### **משימת סיכום**

הכינו סיכום של הפרק באמצעות מצגת, כרזה (פוסטר) או משחק לימודי. התייחסו בעיקר לנושאים האלה:

- תופעת ה"חור באוזון" כולל היווצרות ופירוק של האוזון בטבע
  - חומרים הפוגעים באוזון
  - ההתמודדות העולמית עם התופעה והדרכים לצמצמה
- יש להוסיף מידע עדכני מעבר למידע שבפרק. מומלץ להיעזר באתרים המשולבים בפרק.

## סיכום -

מקורות, מטאורולוגיה ונזקים של זיהום  
אוויר לבריאות האדם

## מקורות טבעיים לזיהום אוויר

- (1) הרי געש פעילים פולטים גזים מזהמים כמו  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ , וגם חלקיקים ואבק ששוהים באוויר זמן רב ומתפזרים למרחקים גדולים.
- (2) שרפות גדולות ביערות נחשבות כנזקים הנגרמים ממקור טבעי, למרות שהן יכולות להיגרם על ידי בני אדם. הן גורמות לזיהום נרחב עקב פליטת עשן, פחמימנים, פחמן חד-חמצני, תחמוצות חנקן ואפר.
- (3) סופות אבק, שגורמות להעלאת חלקיקים ואבק לאוויר ולפיזורם למרחקים גדולים, גורמות להגבלת הראות וכתוצאה לתאונות חמורות, הפרעה לטיסות וכו'.
- (4) האוקיינוסים פולטים אירוסולים לסביבה בצורת גרגירי מלחים הגורמים להחלדת מתכות וצבעים. גם התנועה המתמדת של הגלים על הסלעים גורמת לשחיקתם לחול ולפיזורם לאוויר. כך גם עם צדפות שנסחפות לחוף, נשחקות מפעולה מתמדת של גאות ושפל והופכות לאבק באוויר.
- (5) העצים והצמחים שעל פני כדור הארץ, למרות תפקודם החשוב בהפיכת  $\text{CO}_2$  לחמצן, מהווים את המקור העיקרי לפחמימנים בעולם. הפחמימנים הם חומרים טבעיים הקשורים בפעילות חילוף חומרים בטבע, אך תוצרים שלהם עלולים להיות רעילים. בעיה נוספת היא תופעות אלרגיות שגורמים צמחים מסוימים לבני אדם. אלרגיות לצמחים מהוות כיום מטרד לבריאות הציבור, וגורמות לאובדן ימי עבודה ולנזקים כלכליים.
- (6) מקורות נוספים, כמו אגמים מלוחים וגזי גפרית ממעינות מרפא, נחשבים כמזהמים מקומיים.

## מקורות מלאכותיים לזיהום אוויר

- (1) שרפה היא המקור העיקרי לזיהום אוויר. שרפה היא תגובה של יסוד עם חמצן, המלווה בפליטת אור וחום. השימוש העיקרי בשרפה הוא לחימום, תוך ניצול האנרגיה הכימית כאנרגיה חום. משתמשים בשרפה בעיקר בבתי זיקוק ובתחנות כוח, בחימום ובבישול ביתי ותעשייתי, במנועי מכוניות ובסילוק פסולת וחומרים לא רצויים. בעיית הזיהום הנובעת משרפת דלק פוסילי (נפט גולמי או פחם) היא לא רק פליטת  $\text{CO}_2$ , אלא בעיקר פליטה של גזים מזהמים שונים. כתוצאה מנוכחות חומרים זרים ומתהליכי שרשרת שמתרחשים בזמן השרפה, נפלטת גזים כמו  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , אדי מתכות, תחמוצות מתכתיות, מלחים, חומצות, אלדהידים וקטונים, חומר חלקיקי (עשן, אפר דק) ועוד. השימוש בפחם יוצר בעיית זיהום נוספת של פיזור גרגירי הפחם באוויר, בזמן הובלתו ואכסונו עד השימוש ובפינוי הפחם השרוף.
- (2) זיהום רב נוצר כתוצאה מתהליכי ייצור, מהתוצרים ומהפסולת של תעשיות שונות כגון
  - הפקת מתכות מעפרות - בעיקר ברזל, נחושת ואלומיניום.
  - ייצור קרשים, רהיטים, נייר ועוד, מעץ.
  - חציבת אבנים לבנייה במחצבה.
  - ייצור שלדי מכוניות ושאר רכיבים מפלדה.
  - ייצור דשנים וזבלים כימיים.
  - ייצור צבעים ולכות, דבקים, פלסטיק, סבונים, דטרגנטים ועוד.

חשוב לציין כי הזיהום, שמקורו בתעשייה, הוא יציב וקבוע (בהתאם לתהליך הייצור), ולכן יש אפשרות לפקח עליו ולדרוש את הקטנתו.

3) צריכה אישית בחיי היום-יום בחברה המודרנית היא גורם נכבד בזיהום אוויר. באומדן שנעשה בארה"ב, משפחה ממוצעת בת ארבע נפשות, פולטת בשנה כ- 72 ק"ג זיהום גרגירי לאוויר וכ- 1840 ק"ג זיהום גזי. בסך הכל, זהו זיהום גבוה בהרבה מהזיהום הנוצר ממקור תעשייתי ממוצע. מקורות הזיהום מצריכה אישית נובעים בעיקר משימוש במכוניות, בתנורי חימום ובישול (בגז, בנפט או בפחמים) וממכשירים חשמליים.

את הזיהום, מצריכה אישית, אפשר להקטין ע"י צעדים כמו

- חוקים ותקנות המגבילים את השימוש בחימום למזג אוויר מתאים.

- חינוך לשינוי באורח החיים כמו עידוד השימוש בתחבורה ציבורית.

- עידוד השימוש במקורות מזהמים פחות, כמו מעבר לשימוש בגז.

קשה לשלוט על צריכה אישית וקשה לשכנע אנשים, שהם גורמים לזיהום רב יותר ממפעל ממוצע. המגמה כיום היא הגברת המודעות לנושא, בעיקר בקרב הדור הצעיר.

4) פסולת תעשייתית וביתית היא מקור נוסף לזיהום אוויר ולמטרד לסביבה. אחת הדרכים להיפטר מפסולת מוצקה היא לשרוף אותה, וכך להקטין את כמותה ולהיפטר מריחות ריקבון לא נעימים. בשרפה מלאה מתקבלים  $\text{CO}_2$  ו-  $\text{H}_2\text{O}$  חסרי ריח, אך גם גזים מזהמים (כפי שפורטו לעיל).

המגמה כיום היא לבצע שרפה מבוקרת, במתקנים מיוחדים, תוך הרחקה או מחזור של תוצריה.

### משימה 1: ניתוח וארגון מידע

1. ערכו טבלה המסכמת את המקורות העיקריים למזהמי אוויר טבעיים ומלאכותיים.

2. בחרו 7-10 מושגים הקשורים באיכות האוויר מתוך המידע שקראתם, והרכיבו מהם מפת מושגים.

3. בהתייחס לטבלת הסיכום הנתונה להלן:

א. ערכו רשימה של מזהמי אוויר שכמותם ממקור מלאכותי גדולה מכמותם ממקור טבעי, ונסו להסביר את הסיבות לכך.

ב. ערכו רשימה נוספת של מזהמים שכמותם ממקור טבעי גדולה מכמותם ממקור מלאכותי. מדוע לדעתכם, "מזהמים" ממקור טבעי אינם בבחינת סכנה לאדם בעוד שמזהמים ממקורות מלאכותיים מהווים סכנה לבריאות האדם, החי והצומח?

תרכובת / מזהם	מקורות מלאכותיים / לתרכובת מזהם	מקורות טבעיים לתרכובת / מזהם	כמות זיהום לשנה ממקור מלאכותי ( $10^6$ טון)	כמות זיהום לשנה ממקור טבעי ( $10^6$ טון)	זמן שהות משוער באטמוספירה	הערות
SO <sub>2</sub>	שרפת דלק	הרי געש	212	20	4-1 ימים	התגובה מואצת בקיץ הודות לתהליך פוטוכימי
H <sub>2</sub> S וגופרות אורגניות	טיפול במי ביוב ותעשייה	הרי געש ותהליכים ביו-גנטיים בקרקע ובמים	3 (כגפרית)	84 (כגפרית)	H <sub>2</sub> S : 1-4 ימים סולפידים : 1- 2 שנים	המדידות האטמוספריות אינן מושלמות וייתכן שהסולפידים שוהים עד 20 שנה באוויר
CO	שרפה לא מושלמת	שרפת יערות ותהליכים פוטוכימיים	700	2100	3-1 חודשים	לא נמצאו שינויים לטווח רחוק באטמוספירה
NO, NO <sub>2</sub>	שרפה	תהליכים ביוגנטיים בקרקע ובאוויר	75 (כ- NO <sub>2</sub> )	180 (כ- NO <sub>2</sub> )	5-2 ימים	התהליכים הטבעיים משוערים בעיקרם
NH <sub>3</sub>	טיפול באשפה ושרפה	תהליכים ביוגנטיים בקרקע	6	260	7-1 ימים	המדידות האטמוספריות הן מעטות מאוד
N <sub>2</sub> O	שרפה (בכמויות קטנות)	תהליכים ביוגנטיים בקרקע	3	340	100-20 שנים	
CH <sub>4</sub>	שרפה	מעיינות חמים ותהליכים ביוגנטיים בקרקע ובמים	160	1050	8 שנים	
פחמימנים (מלבד CH <sub>4</sub> )	שרפה	תהליכים ביוגנטיים בקרקע ובצמחייה	40	$2 \times 10^4$	שעות עד מספר ימים	
CO <sub>2</sub>	שרפה	תהליכים ביולוגיים	22000	$10^6$	4-2 שנים	שרפת יערות גדולים מעלה בהרבה את כמות ה- CO <sub>2</sub> באוויר
CHCl <sub>3</sub>	שרפה	תהליכים ביולוגיים באוקיינוסים	2	6-4	2-1 שנים	לתהליכים בסטרטוספירה יש השפעה על שכבת האוזון
HCl, Cl <sub>2</sub>	שרפה, תעשיית כלור	תהליכים אטמוספריים של NaCl, הרי געש	4	200-100	כשבוע	

4. בטבלה שלפניכם מוצגים מזהמי האוויר העיקריים שלמדתם עליהם בספר, המקורות להיווצרותם והבעייה שהם יוצרים. הוסיפו לכל מזהם פתרונות אפשריים להקטנת או מניעת זיהום האוויר ממזהם זה.

פתרונות אפשריים	בעיה/תופעה/סכנה הקשורה בתרכובות / במזהמים	מקור		תרכובת / מזהם
		מלאכותי	טבעי	
	<p>1. יצירת חומצה גפרתית הפוגעת בדרכי הנשימה.</p> <p>2. גשם חומצי הפוגע ביבולים, במבנים וברקמות חיות.</p> <p>3. בצירוף עם חלקיקים ובתנאי מזג אוויר מתאימים - יצירת ערפיח והפרעות נשימה כבדות כמו באירוע לונדון.</p>	<p>שרפת דלק "כבד" (מזוט בעיקר) בתחנות כוח</p>	<p>הרי געש, חמצון H<sub>2</sub>S בטבע</p>	<p><b>תחמוצות גפרית</b> SO<sub>x</sub></p>
	<p>1. עשן ופיח הגורמים לאובך ולהקטנת הראות.</p> <p>2. בצירוף עם תחמוצות גפרית ובתנאי מזג אוויר מתאימים - יצירת ערפיח והפרעות נשימה כבדות כמו באירוע לונדון.</p>	<p>שרפת דלקים (בעיקר פחם וסולר) בתחנות כוח, מפעלים וכלי רכב</p>	<p>הרי געש, סופות אבק, שרפת יערות</p>	<p><b>חלקיקים</b></p>
	<p>1. יצירת חומצה חנקתית ופגיעה בדרכי הנשימה.</p> <p>2. גשם חומצי הפוגע ביבולים, במבנים וברקמות חיות.</p> <p>3. בצירוף פחמימנים ובהשפעת השמש - יצירת ערפיח - זיהום אוויר כבד, המכיל בעיקר אוזון.</p>	<p>שרפת דלקים בעיקר בכלי רכב</p>	<p>הרי געש ותהליכים ביוגנטיים בקרקע</p>	<p><b>תחמוצות חנקן</b> NO<sub>x</sub></p>
	<p>פגיעה בריאות ובדיפוזיה של גזים מהריאות לדם. ריבוי התקפות קצרת (אסטמה) וקרישת דם מוגברת.</p>	<p>מזהם משני הנוצר בתגובה פוטוכימית בין תחמוצות החנקן ופחמימנים</p>	<p>ברקים</p>	<p><b>אוזון</b> O<sub>3</sub></p>
	<p>בליעת אנרגיה הנפלטת מכדור הארץ וע"י כך התחממות כדור הארץ ("אפקט החממה"). הדבר עלול לגרום להמסת קרחונים, להצפות איזורי יישוב ולהפרת האיזון האקולוגי בכדור הארץ.</p>	<p>שרפת דלק פוסילי (פחם, נפט גולמי).</p>	<p>שרפת יערות</p>	<p><b>פחמן דו-חמצני</b> CO<sub>2</sub></p>
	<p>הורדת יכולת קשירת החמצן בדם עקב קישור בלתי הפיך של CO להמוגלובין בדם. הדבר גורם לכאבי ראש, לבחילות, לרפיון, למחלות לב וריאה ובריכוזים גבוהים אף למוות.</p>	<p>שרפה לא מושלמת של דלק פוסילי בעיקר בכלי רכב</p>	<p>שרפת יערות</p>	<p><b>פחמן חד-חמצני</b> CO</p>
	<p>פגיעה מתמשכת (לעשרות השנים הבאות) בשכבת האוזון - "חור" באוזון העלולה לגרום לחדירת קרינת U.V הגורמת למחלות עור ולסרטן.</p>	<p>תרסיסים, מזגנים</p>	<p>אין</p>	<p><b>פריאונים</b></p>

## קני מידה שונים של נזקי זיהום אוויר

כאשר דנים בהשפעות של זיהום אוויר יש להתייחס לקני המידה של ההשפעה.

### השפעה בקנה מידה עולמי - מעגל הפחמן

שרפת נפט, פחם וגזים טבעיים ליצירת חום וחשמל, גורמת לשחרור  $\text{CO}_2$  ופחמימנים לאטמוספירה. ריכוזו של גז ה-  $\text{CO}_2$  באוויר הולך ועולה מאז המהפכה התעשייתית. במעגל הטבעי,  $\text{CO}_2$  נוצר בתהליכי נשימה ובתהליך חמצון של מתאן. הוא מסולק בתהליך הפוטוסינתזה של צמחים והמסה במקווי מים. כך היה במשך אלפי שנים וריכוזו של ה-  $\text{CO}_2$  היה קבוע ושווה ל ppm 250-200 ( 0.02% - 0.025% ).

ב- 200 השנים האחרונות, (מאז המהפכה התעשייתית), ריכוזו עלה לכ- 350 ppm (0.035%). העלייה נמשכת והדבר גורם להתחממות האטמוספירה, לשינויים במי האוקיינוסים ובאזורים חקלאיים.

### השפעה בקנה מידה אזורי - מעגל הגפרית

המקור העיקרי של ייצור גפרית הוא בדלק פוסילי ובכורים. ההשפעה המיידית היא איזורית (בטווח של כמה מאות ק"מ). התוצאה היא פליטת  $\text{SO}_2$  לאוויר. בתהליכים שונים בטרופוספירה, תחמוצת הגפרית הופכת לגפרה והיא גורמת ליצירת גשם חומצי.

השפעתו של הגשם החומצי על חומציות האגמים, על מי השתייה ועל הקרקע היא בטווח גדול, לעתים הרחק ממקור הזיהום.

### השפעה בקנה מידה מקומי - מעגל הפלואורידים

הפלואורידים נוצרים כחומרי לוואי בתעשיות שונות כמו בייצור דשנים זרחתיים, אלומיניום וזכוכית. הפלואורידים שנפלטים לאוויר נספגים בצמחים.

טווח החשיפה הוא מקומי - עד 100 ק"מ. הסביבה הקרובה למפעלים כאלו, נחשפת לפלואורידים על-ידי אכילת היבול שבסביבה או אכילת בשר בעלי-חיים שאכלו מהיבול. הפלואורידים גורמים נזק לשיניים ולמבנה העצמות.

## משימה 2: חשיבה ביקורתית ומשחק תפקידים

בהתייחס לקנה המידה של השפעת מזהמים, ערכו דיון ביניכם בנוגע להשפעת מזהמים על האדם: האם מידת הסכנה של מזהמים שונים תלויים בקנה המידה של השפעתם? התייחסו לכך מנקודת ראותם של האזרחים, של המדינה ושל ארגון בין-לאומי של מדינות.



### משימה 3: ניתוח וארגון מידע

1. ערכו במחברתכם טבלה של המזהמים המופיעים במידע שקראתם והשפעתם על בריאות האדם.
2. האם ניתן לדרג את הנזקים של מזהמים אלו? אם כן, הסבירו לפי אילו בוחנים (קריטריונים) אתם מדרגים, ואם לא, הסבירו איזה מידע נוסף עליכם לקבל כדי לדרג.
3. באוכלוסייה ממוצעת קיימים הבדלים ניכרים ברגישותן של קבוצות גיל שונות לזיהום אוויר. אילו קבוצות באוכלוסייה ייפגעו, לדעתכם, ראשונות כתוצאה מזיהום אוויר ומדוע?

### מטאורולוגיה של זיהום אוויר

**מטאורולוגיה** היא מדע העוסק בתופעות אטמוספריות שונות. מטאורולוגיה של זיהום אוויר עוסקת בתנועות המזהמים באטמוספירה ובהשפעת התנאים האטמוספריים על ריכוז המזהמים באוויר. מדע זה מסייע בידיעת ריכוזו ופיזורו של מזהם באוויר, וכתוצאה מכך גם את מידת זיהום האוויר.

### פיזור מזהמים באטמוספירה

פיזור המזהם מורכב משני גורמים: פיזור אופקי ופיזור אנכי.

**פיזור אופקי** – תלוי בכיוון הרוח ובמהירותה. כיוון הרוח קובע את כיוון תנועת המזהמים ומהירות הרוח קובעת את ריכוז המזהמים, כלומר את כמותם בנפח אוויר נתון. תנועת אוויר גדולה, תפזר כמות נתונה של מזהם בנפח אוויר גדול יותר והתוצאה תתבטא בהפחתת ריכוז המזהם.

**פיזור אנכי** – תלוי במפל הטמפרטורה: ההבדלים בטמפרטורה בין השכבות השונות של האטמוספירה. גורם חשוב במיהול מזהמים הוא קיום מערבולות. מערבולת היא תנועת האוויר סביב ציר אנכי. תנועה זו נגרמת עקב תנאים טופוגרפיים: חוסר אחידות במבנה הקרקע, יערות, גבעות ומבנים, וגורמת לערבול מתמיד באוויר – ערבוב אחיד בשכבת האוויר התחתונה. הערבול קובע את עובי שכבת אוויר תחתונה זו – ככל שהשכבה עבה יותר, גדל ערבוב המזהמים באוויר וריכוזם קטן. עובי שכבת העירוב עשוי להשתנות במשך שעות היום ובמהלך עונות השנה כתלות במפל הטמפרטורה – המושפע מעצמת קרינת השמש. שכבת העירוב משתרעת לגובה של 200-750 מטרים מפני הקרקע. הטמפרטורה שלה, וכן הלחץ האטמוספרי יורדים עם העלייה בגובה.

הערך המקובל לשיעור ירידת הטמפרטורה עם הגובה הוא ירידה של  $1^{\circ}\text{C}$  בכל עלייה של 100 מטרים בגובה. מצב זה מוגדר כמודל תאורטי. אולם, לא תמיד תואמים התנאים האטמוספריים את המודל התאורטי הזה. לעתים, ירידת הטמפרטורה מתונה יותר מאשר במודל התאורטי. במצב זה ערבוב השכבות קטן והוא מוגדר כ**אטמוספירה יציבה**.

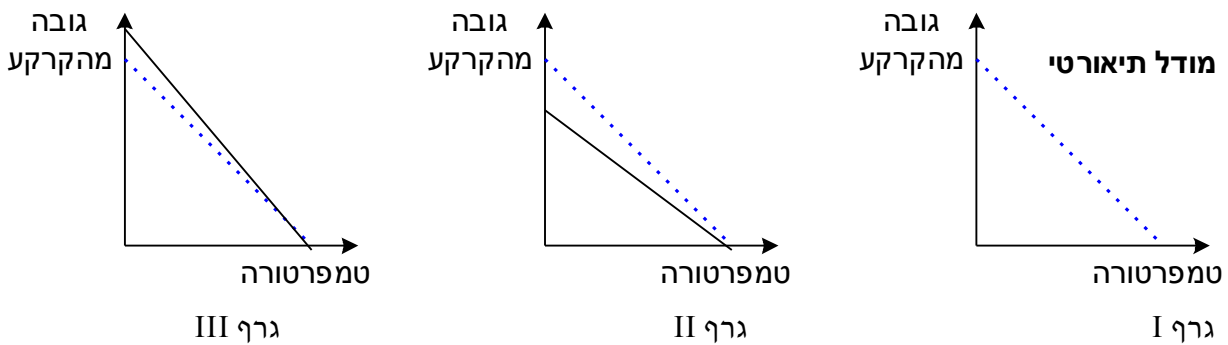
מצב האופייני לתקופת הקיץ הוא מצב שנגרם בו חימום רב של פני הקרקע. כתוצאה מכך, נוצר מצב שבו ירידת הטמפרטורה חדה יותר מאשר במודל התאורטי. במצב זה, שכבת האוויר התחתונה מתחממת, היא

קלה ועל כן נעה כלפי מעלה. תנועה זו תגרום לתנועת אוויר אנכית, כלומר ליצירת מערבולות. זהו מצב של אטמוספירה לא יציבה.

### משימה 4: ניתוח גרף

לפניכם גרפים המתארים את מפל הטמפרטורה במצבים אטמוספריים שונים.

א. גרף I מתאר את מפל הטמפרטורה במודל התאורטי. איזה גרף מייצג אטמוספירה יציבה ואיזה גרף מייצג אטמוספירה לא יציבה?



- ב. מצבי היציבות האטמוספרית השונים משפיעים באורח שונה על פיזור המזהמים באטמוספירה. איזה מצב אטמוספרי עדיף, לדעתכם, מבחינת הקטנת זיהום האוויר ומדוע?
- ג. אילו תקופות בשנה בעייתיות יותר מבחינת זיהום אוויר בהתייחס לגרפים הנ"ל? נמקו.

## אינוורסיה אטמוספרית

כאשר במרחק מסוים מפני כדור הארץ עולה לפתע הטמפרטורה עם הגובה ואינה יורדת כמצופה, נוצר מצב שבו שכבת אוויר חמה וקלה מצויה מעל שכבה קרה וכבדה ממנה. מצב כזה, הקרוי אינוורסיה, מלווה בדרך כלל גם בהיעדר רוחות, או ברוחות קלות, כך שהפיזור האופקי של המזהמים קטן. באינוורסיה גם אין ערבול אנכי והמערבולות הנגרמות בשל תנאים טופוגרפיים, קטנות. ניתן להבחין בשני סוגי אינוורסיה:

1. אינוורסיית קרקע - נוצרת בלילות בהירים, כאשר כדור הארץ הפולט חום גורם לקירור פני הקרקע, כך, שכבת האוויר הקרובה לפני הקרקע קרה משכבת האוויר שמעליה, וכאשר לחות האוויר גבוהה נוצר ערפל. מצב הפוך זה נמשך בשעות הלילה ומגיע לשיאו לפני הזריחה. בשעות הבוקר כאשר השמש מחממת את הקרקע, והאוויר הקרוב אליה מתחמם ועולה כלפי מעלה, נוצר ערבול (מצב אטמוספרי לא יציב), והוא זה שגורם לשבירת האינוורסיה תוך 1-2 שעות. לעתים עלולה אינוורסיית הקרקע להימשך כל היום, או אף ימים מספר. שבירת אינוורסיית הלילה מביאה ליצירת אובך הגורם לריכוזים גבוהים של מזהמים קרוב לפני הקרקע.

במצב שקיימת בו שכבת אינוורסיה בגובה של 200 מטר מעל פני הקרקע, כל האוויר המזוהם הנפלט לאטמוספירה, בגובה הנמוך מ- 200 מטרים, אינו יכול להתרומם מעליה. שכבת אוויר זו תשמש מלכודת למזהמים שבה. תופעה זו ידועה כערפיח (כדוגמת אירוע לונדון, המתואר בנושא תחמוצות הגפרית).

2. אינוורסיית רום - אינוורסיה זו נוצרת בשכבת אוויר הגבוהה מפני הקרקע. היא נוטה לכסות שטח נרחב, ונמשכת פרק זמן ארוך. להיווצרות אינוורסיה זו כמה גורמים:

- א. חדירת אוויר בלחץ גבוה ושהייתו מעל האזור.
  - ב. חדירת חזית קרה לאזור הגורמת להתרוממות אוויר חם וליצירת שכבת אוויר קר מתחתיו.
  - ג. חדירת רוח ים (בריזה) לאזור.
- כאשר קיימת אינוורסיה, העירוב בין שכבות האוויר שמתחתיה לאלו שמעליה, הוא מזערי. עוצמת האינוורסיה נקבעת על פי עובי שכבת האינוורסיה והבדלי הטמפרטורות שבין השכבות. ככל שהאינוורסיה חזקה יותר, קטן הסיכוי לעירוב.
- לפיכך, תגרום פליטת מזהמים מתחת לשכבת האינוורסיה ללכידתם, ותמנע את פיזורם. פליטת מזהמים מעל שכבת האינוורסיה תמנע את סחיפתם כלפי מטה, דבר שיגרום להפחתה הצפויה ברמת הזיהום. היווצרות שכבות אינוורסיה שכיחה במישור החוף של ישראל, במיוחד בשל השפעת רוח מהים.

## משימה 5: ניתוח, ארגון ואיסוף מידע

1. בהסתמך על המידע שקראתם אודות מטאורולוגיה של זיהום אוויר, השלימו את הקטע הבא במקומות החסרים. היעזרו ברשימת המילים המופיעה בסוף המשימה.
  1. פיזור : פיזור 1. התלוי בכיוון הרוח וב 2. \_\_\_\_\_ הרוח,
  3. \_\_\_\_\_ . ב 4. \_\_\_\_\_ ירידת הטמפרטורה היא  $1^{\circ}C$  בכל עלייה של 100 מטרים בגובה. באטמוספירה בלתי יציבה מפל הטמפרטורה באטמוספירה 5. \_\_\_\_\_ ממפל הטמפרטורה במודל התאורטי. בתנאים כאלו יוצרו 6. \_\_\_\_\_.

באטמוספירה יציבה מפל הטמפרטורה באטמוספירה 7. \_\_\_\_\_ מזה שבמודל התאורטי. ערבוב השכבות יהיה 8. \_\_\_\_\_.

באינוורסיה אטמוספרית, שכבת אוויר 9. \_\_\_\_\_ מצוייה מעל שכבת אוויר 10. \_\_\_\_\_ וכבדה ממנה. על כן באינוורסיה אין 11. \_\_\_\_\_ אנכי כמעט.

אינוורסיית קרקע נגרמת עקב 12. \_\_\_\_\_ של כדור הארץ, בדרך כלל נמשכת אינוורסיית הקרקע זמן 13. \_\_\_\_\_ ושבירתה עלולה לגרום ל 14. \_\_\_\_\_ המביא לריכוזים גבוהים של 15. \_\_\_\_\_ קרוב לפני הקרקע.

אינוורסיית רום נוצרת בשכבת אוויר 16. \_\_\_\_\_ מפני הקרקע. היא נמשכת פרק זמן 17. \_\_\_\_\_ יותר.

עוצמת האינוורסיה נקבעת על פי עובי שכבת האינוורסיה והבדלי הטמפרטורות שבין השכבות. ככל שהאינוורסיה 18. \_\_\_\_\_ יותר קטן הסיכוי לעירוב. פליטת מזהמים 19. \_\_\_\_\_ לשכבת האינוורסיה תביא ללכידתם ומידת הפיזור 20. \_\_\_\_\_.

רשימת המילים: אובך, גדול, מהירות, פליטת חום, מזהמים, ארוך, מתחת, אופקי, המודל התאורטי, חמה, קצר, מפל הטמפרטורה, תקטן, חזקה, מערבולות, גבוהה, ערבול, נמוך, קרה, מזערי.

2. זיהום אוויר נובע בעיקר משרפה בלתי מושלמת של דלק פוסילי (נפט, פחם, גז טבעי) אשר כתוצאה ממנה נפלטים מזהמים לאטמוספירה בעיקר מכלי רכב ומארובות מפעלים.

צפו בעשן הנפלט מארובות באזור מגורכם. התבוננו בצורתו בשעות שונות במשך היום, ובימים שונים בשבוע. שימו לב כי לעשן צורות שונות בזמנים שונים. נסו לצייר אותן.

## **פיזור מזהמים במצבים אטמוספריים שונים**

הבנת התנהגות הפלומה - העשן הנפלט מארובה, בתנאים מטאורולוגיים שונים, מסייעת לנו לאמוד את ריכוזי המזהמים שעל פני הקרקע. האפשרות לחשב את ריכוזי הזיהום המרביים מסייעת לנו בקביעת מיקום המזהם וכן בקביעת גובה הנדרש של הארובה.

כאשר נושבת רוח קלה, מיתמרת הפלומה כלפי מעלה בצורת קשת, בטרם תתפזר בצורה אופקית בכיוון הרוח. בהיעדר רוח, עולה הפלומה במישרין למעלה ונמוגה.

מידת עילוי הפלומה מותנית בטמפרטורת הגזים ובמהירות יציאתם מהארובה. לאחר שמגיע עילוי הפלומה לשיא, מתחילה הפלומה להתפזר באטמוספירה ולהימהל בה. כתוצאה מכך גדלים ממדיה במידה ניכרת. שלב זה של תהליך הפיזור מושפע מהתנאים המטאורולוגיים, כלומר ממצב היציבות האטמוספרית.

במשך השנים, פותחו מודלים מתמטיים רבים לחישוב עילוי הפלומה (הגובה מעל הארובה) ומידת פיזור. בהתאם לחישובים הללו נמצא כי:

א. מהירות פליטת הגזים מהארובה צריכה להיות גדולה פי 1.5 לכל הפחות ממהירות הרוח בסביבה, כדי למנוע את סחיפת הגזים כלפי מטה.

ב. אפשרות נוספת היא שהארובה תהיה גבוהה פי 2.5 לכל הפחות מהמבנה הגבוה ביותר שבקרבתה.

באמצעות מודלים אלו ומתוך ידיעת כמות המזהמים הנפלטת אפשר לחשב את ריכוזם על פני הקרקע.

## משימה 6: ניתוח מידע והבנת גרף

1. נתון כי ביום מסוים קיימת שכבת אינוורסיה בגובה של 130 מטרים מעל לפני הקרקע. עובי שכבה זו הוא 60 מטרים. מחקו את המיותר:
  - א. ארובה בגובה של 120 מטרים תפלוט את העשן מעל/ מתחת לשכבת האינוורסיה.
  - ב. המזהמים לכודים בשכבת האינוורסיה /מתפזרים לשכבות הגבוהות של האטמוספירה.
2. מה לגבי ארובה בגובה של 220 מטרים?
3. לפניכם מידע אודות אופני פיזור של פלומה בהתאם לתנאים מטאורולוגיים שונים. התאימו את הגרפים (המצורפים בהמשך) למצבים השונים (מלאו את המספר המתאים לשורה המתאימה בטבלה).

תנאים מטאורולוגיים	מספר גרף	אופי פיזור הפלומה
מודל תאורטי		פלומה שצורתה קונוס. הערבול סימטרי הן בכיוון האופקי והן באנכי. מידת פיזורה וגובהה מותנים במהירות הרוח ובמפל הטמפרטורה.
אוויר חם, מצב יציב		פלומה שצורתה מניפה. מערבולת אטמוספריית מועטה, לכן פיזור אנכי מועט ופיזור אופקי רב יותר. הפלומה תיראה כקונוס צר המשתרע לאורך מרחק רב בכיוון הרוח. פלומה זו אופיינית גם לאינוורסיה שבסיסה בקרקע. בעת שבירת האינוורסיה נוצרת פלומה הגורמת לאובך ולריכוזים גבוהים של מזהם קרוב לפני הקרקע.
אוויר קר, מצב לא יציב		פלומה שצורתה לולאה. נוצרות רוחות קלות ומערבולות העשויות לגרום לירידת הפלומה לגובה הקרקע – סכנה לזיהום אוויר בגובה פני הקרקע.

.1



.2



.3



## נזקי זיהום אוויר לבריאות האדם

גוף האדם הוא בעל יכולת ספיגה עצומה של חומרים כימיים (בעיקר בשאיפה) וצבירתם בגוף. המערכות והמרכיבים בגוף, שהחומרים נספגים בהם הם: דם, שתן, רקמות רכות, שיער, שיניים ועצמות. הצבירה נגרמת כאשר ספיגת החומרים בגוף מהירה יותר בהשוואה למהירות סילוקם מהגוף. נזקי זיהום האוויר האדם צורך ביממה כ 10-12 מטר מעוקב אוויר. האוויר חיוני באופן רציף ומידי לקיום. נזקי זיהום האוויר לבריאות האדם מתבטאים במחלות כרוניות בדרכי הנשימה, בשינויים פיסיולוגיים בריאות, בתחלואה בסרטן הריאות, בהפרעות לחושי הראייה והריח, ובמקרים מסוימים אף במוות. במקומות שונים בעולם אירעו מקרים, שבהם נפגעה אוכלוסייה מזיהום אוויר. את המקרים הללו אפיינו תנאים מטאורולוגיים קיצוניים ולחות גבוהה, שגרמו לחשיפת האוכלוסייה לזיהום חלקיקי וגזי.

לפניכם מידע אודות נזקים לבריאות האדם של מזהמים אחדים.

בשרפת דלק המכיל **עופרת Pb**, בשרפת פסולת מוצקה ובתהליכים המתרחשים בתעשיות שונות משתחררת עופרת. היא נקלטת על ידי הגוף בעיקר בנשימה ומעט באמצעות מזון. עופרת חודרת מיד למערכת הדם ומשם מגיעה לכל מערכות הגוף. אם החלקיקים קטנים דיים הם חודרים גם לריאות. כבר בריכוזים נמוכים, מפריעה

העופרת להתפתחות ולהתבגרות של כדוריות הדם האדומות, וכתוצאה מכך גורמת לשינוי בתכונותיהן. ריכוזים גבוהים של עופרת מובילים להרעלה ולמוות.

**הפחמן החד-חמצני CO**, אשר מרביתו נוצר כתוצאה משרפה בלתי מלאה בעיקר של דלק במכוניות, מתרכב עם ההמוגלובין שבכדוריות הדם האדומות, וגורם לירידה בכושרו של הדם להעביר חמצן מן הריאות אל תאי הגוף. בשעות של עומס בתנועה עירונית, יכול ריכוזו של הפחמן החד-חמצני להגיע ל-80-100 חל"מ, ולגרום לסחרחורות, לכאב ראש ולטשטוש. ריכוזים גבוהים יותר יכולים לגרום אף למוות. חולי לב וחולים במחלות דרכי הנשימה רגישים במיוחד לחשיפה לפחמן חד-חמצני הפוגע באספקת החמצן.

**האוזון O<sub>3</sub>** גם הוא גז רעיל, פוגע בריאות, ובדיפוזה של גזים מהריאות אל הדם. כמו כן גורם האוזון לקרישת מוגברת של הדם. חשיפה ממושכת לאוזון גורמת למחלות דרכי הנשימה. האוזון נוצר בתהליך פוטוכימי באזורים שיש בהם זיהום רב מכלי רכב (תחמוצות חנקן ופחמימנים).

**תחמוצות החנקן NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>** גורמות לתסמונת דומה לזו של האוזון.

**תחמוצות הגפרית SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>**, אשר מקורן בעיקר בתחנות כוח ותעשייה, גורמות לגירוי דרכי הנשימה. בקרב חלק מהאוכלוסייה, מופיעות מחלות כרוניות של דרכי הנשימה: דלקת סמפונות כרונית, קצרת (אסטמה) ונפחת הריאות.

**פחמימנים** מסוימים, אשר מקורם בדלקים שונים, יכולים לגרום למחלות סרטן שונות.

בין מזהמי האוויר מצויים גם **חלקיקים** מוצקים המרחפים באוויר. בדרך כלל מורחקים חלקיקים אלו על-ידי תנועת הריסים של הקרומים הריריים במערכת הנשימה. בריכוז גבוה מאוד של חלקיקים, הרחקתם איננה יעילה, והם יכולים לגרום לגירויים חזקים ואף למחלות.

## מערכת הנשימה וזיהום אוויר

הנזקים לבריאות האדם כתוצאה מזיהום אוויר קשורים בעיקר במערכת הנשימה.

תפקודי מערכת הנשימה הם:

1. העברת האוויר אל הריאות ומהן אל כלי הדם.

2. הרטבת וחימום האוויר הנשאף.

3. סינון האוויר הנשאף מזיהומים.

4. פליטת הגזים הבלתי רצויים.

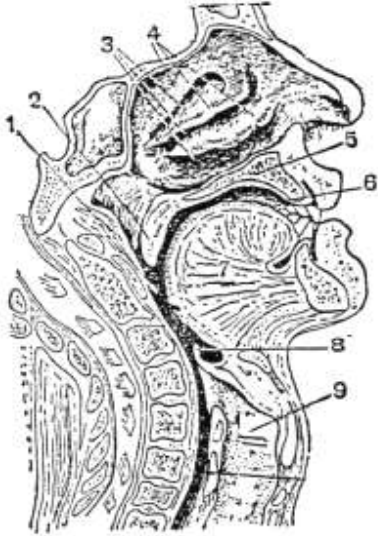
מערכת הנשימה מורכבת מדרכי נשימה עליונות הכוללות את האף, חלל הפה והגרון ומדרכי נשימה תחתונות הכוללות את קנה הנשימה, הסימפונות והריאות.

האוויר עובר מהאף דרך הגרון לקנה הנשימה. קנה הנשימה מסתעף בקצהו התחתון לסמפונות (ברונכים). בתוך הריאה מסתעפות הסמפונות לסעיפים רבים בצורת עץ הקרוי "העץ הברונכיאללי". הסעיפים הדקים ביותר של הסמפונות קרויים ברונכיולים.

הריאות בנויות מאונות (השמאלית משתיים והימנית משלוש), כל אונה מתחלקת לאוניות רבות זעירות. הברונכיולים מסתיימים בקבוצות של שקיקים זעירים הקרויים נאדיות הריאה. הנאדיות עטופות ברשת נימי דם, הבנויה משכבת תאים אחת, ובהן מתרחש חילוף הגזים.

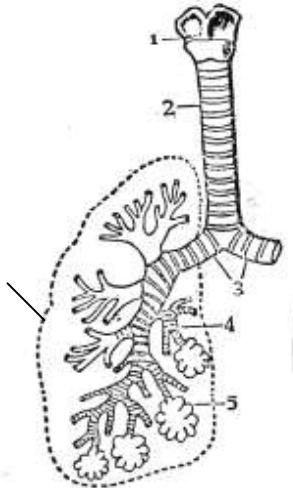
## משימה 4: ניתוח מידע

1. האף הנו איבר חשוב מאוד במערכת הנשימה העליונה. הוא מרופד בקרום רירי ומכיל ריסיס.
  - א. מה לדעתכם עושים הריסיס?
  - ב. איזו הגנה מספקים הריסיס בפני זיהום אוויר?
2. לפניכם איור המתאר את דרכי הנשימה העליונות. התאימו את החלקים האלה במערכת הנשימה לאיור:



- |                             |
|-----------------------------|
| 1 – לוע                     |
| 2 – החיך הרך                |
| 3 – מדורי האף               |
| 4 – קונכיות האף             |
| 5 – החיך הקשה               |
| 6 – חלל הפה                 |
| 7 – הלשון                   |
| 8 – כיסוי הגרון             |
| 9 – חלל הגרון, ומיתרי הקול. |

3. מהו לדעתכם היתרון בקיום של רשת נימי דם דקיקים על פני כלי דם אחד גדול?
4. לפניכם איור המתאר את מסלול מעבר הגזים במערכת הנשימה. התאימו את שמות חלקי המערכת למספרים המתאימים (1-6) באיור.



- |              |
|--------------|
| ברונכיול     |
| גרון         |
| נאדיות הריאה |
| קנה הנשימה   |
| סמפונות      |
| ריאה         |



## משימת סיכום

כאזרחים בעלי מודעות סביבתית גבוהה בעקבות למידת הנושא "איכות האוויר סביבנו", תכננו מחאה ציבורית תחת הכותרת: "העם דורש אוויר נקי". במסגרת זו:

1. הציעו סיסמאות אחדות לשלטים מתאימים.
2. נסחו את דרישותיכם במסמך שתוכלו לפרסם בדף פייסבוק מתאים, שאתם קוראים בו למחאה ציבורית בנושא.
3. כדי להתכונן להוביל מחאה ציבורית כזו, הכינו רשימת תגובות אפשריות של אנשים שונים: חלקם תומכים בקריאתכם וחלקם מתנגדים או מטילים ספקות בהצלחת המחאה.

## נספחים

## נספח 1

## מילון מונחים לנושא - איכות האוויר סביבנו

א

**אובך** - מצב אטמוספרי המאופיין על-ידי ראות לקויה. נגרם בדרך כלל עקב נוכחות ריכוזי חלקיקים גבוהים באוויר. החלקיקים יכולים להיות במצב צבירה מוצק (אפר או חול שמועף לאוויר בעקבות רוח עזה) או במצב צבירה נוזלי (טיפות נוזל זעירות).

**אטום** - החלקיק הקטן ביותר המאפיין יסוד כלשהו. אטומים של יסודות שונים נבדלים זה מזה בגודלם, במסתם ובסידור האלקטרונים שבתוכם.

**אינוורסיה** - היפוך. מונח מתחום המטאורולוגיה המתאר מצב שיש בו שכבת אוויר חם בגובה של כמה מאות מטרים מעל פני האדמה ומתחתיה כלואה שכבה של אוויר קר. זהו מצב שאינו מאפשר פיזור של מזהמים, הנמצאים בשכבת האוויר הקר, לאטמוספירה. במצב מטאורולוגי רגיל קיימת ירידה הדרגתית בטמפרטורה של האוויר עם העלייה בגובה מעל פני הקרקע.

**אנזים** - מולקולה חלבונית גדולה שצורתה המרחבית מאפשרת לה להאיץ את הקצב של תגובה כימית מסוימת (או קבוצת תגובות דומות) בתוך התא החי. ללא נוכחות האנזים התגובה כמעט אינה מתרחשת.

**אירוסול** - תרחיף של חלקיקים מיקרוסקופיים מוצקים או נוזלים בתווך גזי, דרך כלל בצורה של טיפות זעירות המרחפות באוויר. דוגמאות: עשן, ערפל.

**ביוספירה** - כלל חברות החיים על פני כדור הארץ.

ב

**בערה חלקית** - בערה שחלק מהתוצרים בה עדיין יכולים להתרכב עם חמצן. בערה חלקית מתרחשת באוויר דל חמצן.

**בערה מלאה** - בערה שהתוצרים בה אינם יכולים להמשיך להתרכב עם חמצן.

**גלוקוז** - סוכר ענבים. זהו הסוכר הפשוט ביותר בטבע ולכן ניתן לפרקו בקלות רבה לתרכובות שונות.

ג

**גשם חומצי** - נוצר מהתמוססות של תחמוצות גפרית וחנקן באדי מים הנמצאים באוויר. כתוצאה מכך, מי גשם אלו חומציים וגורמים נזקים לצמחים, לבעלי-חיים ולמבנים.

דרגת חומציות נמדדת בעזרת סולם pH. ככל שערך ה-pH נמוך יותר, דרגת החומציות גבוהה יותר. למים מזוקקים pH=7. גשם נחשב חומצי כאשר ה-pH שלו נמוך מ-5.5.

**דיזל** - סוג מנוע לרכב המונע על ידי שרפת סולר (במקום בנזין במנוע רגיל).

ד

**דלק פוסילי** (מאובן) - כל חומר בערה המורכב משיירים של חומרים אורגניים עתיקים שהצטברו בקרום כדור הארץ. בדרך כלל הכוונה היא לנפט, פחם, גז.

**המוגלובין** - חלבון הנמצא בתאי דם אדומים. לאחר שמולקולות החמצן עברו מן הנאדיות שבריאיות אל הדם, הן נקשרות להמוגלובין. זרם הדם מביא את החמצן הקשור להמוגלובין אל כל

ה

חלקי הגוף. הקשר בין החמצן להמוגלובין ניתן אז, והחמצן מגיע לתאים ומשמש להפקת אנרגיה החיונית לחיים. כאשר מולקולות החמצן אינן קשורות אל ההמוגלובין, גם מולקולות של פחמן דו-חמצני יכולות להיקשר אל ההמוגלובין.

ח

**חומר הדברה** - כל חומר, שפעולתו גורמת למותו של יצור חי. חומר ההדברה גורם נזק לבעלי-חיים או לצמחים, ופועל לאחר שהוא נספג בגוף היצור החי וקוטע את שרשרת התגובות הכימיות הרגילות בתאים.

**חומר מחמצן** - חומר שחלקיקיו מסוגלים "לקבל" אלקטרונים בזמן תהליך כימי. דוגמה: מי חמצן.

**חומר מחזר** - חומר שחלקיקיו מסוגלים "למסור" אלקטרונים בזמן תהליך כימי. דוגמה: נחושת, ברזל.

**חייידקים (בקטריות)** - יצורים חד-תאיים זעירים (1-10 מיקרון) המסוגלים לספק לעצמם מזון ואנרגיה מסביבתם ולהמשיך להתרבות. לכל חייידק יש תחום מוגדר של תנאי סביבה שבהם הוא יכול לשרוד. לכל חייידק יש גם "מבחר" של חומרימזון המתאימים לו. החייידקים נפוצים בכל מקום בעולם, חלקם מועילים לאדם וחלקם גורמים למחלות.

**חל"מ (ppm)** - חלקים למיליון. זוהי יחידה מקובלת למדידת ריכוזיהם של מזהמי אוויר שונים. דוגמה: אם נאמר שריכוזו של מזהם אוויר כלשהו שווה ל- 500 חל"מ, פרושו של דבר הוא שבכל 1,000,000 סמ"ק של אוויר נמצא 500 סמ"ק של המזהם.

**חלקיקים (באוויר)** - תערובת המכילה מוצקים ונוזלים בעלי תכונות שונות בגדלים שונים, מחלקיקי פיח ועד חומרים אורגניים ומתכות כבדות. חלקיקים הקטנים מ- 1 מיקרון (0.000001 מטר) מסוכנים ליצורים חיים כי הם מסוגלים לחדור למערכת הנשימה ומשם להיקלט במערכת הדם של יצורים אלו.

**חמצון-חיזור** - תהליך שאלקטרונים נלקחים בו מהחומר המחמצן אל החומר המחזר. דוגמה: תגובת ברזל עם חמצן לקבלת חלודה.

**חומרים אורגניים** - קבוצה של תרכובות כימיות טבעיות או סינתטיות המורכבות בעיקר מאטומי פחמן ומימן ולעתים גם מאטומים של חמצן, חנקן ויסודות נוספים. תרכובות אלו משמשות במעגלי החיים של צמחים ובעלי חיים ומספרן גדול מאוד.

**חומרים אנאורגניים** - תרכובות כימיות של היסודות השונים מלבד פחמן. דוגמאות: מתכות, אלמתכות, מינרלים טבעיים.

**טביעת רגל פחמנית** - סך כל פליטות הפחמן המתבצעות על-ידי עסק, ארגון, עיר, בניין, בית, כלי-רכב, פעילות או מוצר כלשהו. חישוב טביעת הרגל הפחמנית מעלה את המודעות לכמויות פליטות הפחמן וכך ניתן לבצע שינויים מודעים כדי להפחית את סך פליטות הפחמן.

ט

**טרופוספרה** - שכבת האטמוספירה המכילה את האוויר סביבנו עד לגובה של כ- 10 ק"מ מעל פני הים.

**יסוד** - חומר כימי בעל מבנה ותכונות האופייניות לו בלבד ואינו ניתן לפירוק כימי לחומרים פשוטים יותר. דוגמאות: חמצן, חנקן, מימן, פחמן ועוד. עד היום זיהו המדענים למעלה ממאה יסודות.

**מולקולה** - קבוצת אטומים הקשורים ביניהם בקשר כימי. מולקולה יכולה להיות מורכבת מקבוצת אטומים זהים או שונים. דוגמאות: מולקולת חמצן -  $O_2$ , מולקולת פחמן חד-חמצני - CO, מולקולת פחמן דו-חמצני -  $CO_2$ .

**מוטציה** - שינוי בחומר התורשתי (DNA) של התא. התרחשות של מוטציה יכולה לגרום לשינוי בתכונות התא. שינוי זה מועבר לכל התאים שייווצרו ממנו. מוטציות מתרחשות אקראית והן נדירות. שכיחות המוטציות בתאים עלולה להתגבר באמצעות פעולות מסוימות, כגון חשיפה מרובה לקרינה אולטרה-סגולה.

**מיקרון** - יחידת אורך השווה לאלפית המילימטר או 1 חלקי מיליון המטר. משמשת בעיקר לאפיון הממדים של חלקיקים קטנים במיוחד.

**מיקרואורגניזמים** - יצורים זעירים, בדרך כלל חד-תאיים, המסוגלים להתקיים ולהתרבות עצמאית בטבע. יש מאות אלפי סוגים שונים של מיקרואורגניזמים בטבע והם נפוצים בכל רחבי תבל. הקבוצות העיקריות הן: חיידקים, סוגים מסוימים של פטריות ואצות.

**נקודת היתוך** (טמפרטורת היתוך) - הטמפרטורה שחומר מוצק נתון הופך בה לנוזל. דוגמא: נקודת ההיתוך של קרח בלחץ אטמוספירי היא 0 מעלות צלסיוס.

**נקודת רתיחה** (טמפרטורת רתיחה) - הטמפרטורה שנוזל נתון הופך בה לגז. בטמפרטורה זו לחץ האדים של הנוזל משתווה ללחץ החיצוני. מאחר שהלחץ מעל לנוזל משנה את נקודת הרתיחה, מתכוונים תמיד ללחץ אטמוספירי רגיל (אטמוספירה אחת).

**סטרטוספרה** - שכבת האטמוספירה הנמצאת בגובה של 10-60 ק"מ מעל פני האדמה בשכבה זו נמצא האוזון "הטוב".

**סולר** - תזקיק המופק מנפט גולמי ומשמש כדלק למנועי דיזל.

**פריאונים (CFC)** - שמם המסחרי של הפחמימנים הכלוריים-פלואוריים. משמשים בתעשיית הקירור, בתרסיסים, באריזות (להקצפת חומרים פלסטיים), כממסים, כחומרי ניקוי וכחומרים מבודדים. הם יציבים מאוד, אינם מתפרקים באטמוספירה, וכשהם מגיעים לשכבות האטמוספירה הגבוהות הם גורמים לפירוק האוזון שהוא שכבת מגן לכדור הארץ בפני חדירת קרינה אולטרה סגולה, שהיא בעלת תכונות הרסניות לתאים חיים.

**צוים אישיים** - צווים שמוציא השר לאיכות הסביבה לבעלי תפקידים מרכזיים במפעלים הנחשבים למזהמים גדולים במיוחד והמופנים אליהם באופן אישי. הצו מכיל בדרך כלל את

הכמויות המרביות של מזהמים שהמפעל מורשה לפלוט ואי-עמידה בתנאיו כרוכה בעונש המוטל ישירות על "מקבל" הצו.

**צפיפות** (משקל סגולי) - כמות חומר ליחידת נפח. היחידות המקובלות של צפיפות הן גרם לסמ"ק.

**קרינה אולטרה-סגולה (קרינת U.V.)** - קרינה רבת עוצמה שמקורה בשמש המגיעה לסטרטוספירה ועוברת דרכה אל פני כדור הארץ. שמה נובע מהעובדה שאורך הגל האופייני לקרינה זו הוא קצר מאורך הגל האופייני לצבע הסגול.

**ריכוז** - כמות חומר ליחידת נפח. היחידות יכולות להיות אחוז משקלי, חל"מ ועוד.

**תהליך/תגובה כימית** - שינוי המתרחש במבנה של מולקולות (או אטומים) לאחר פעולת גומלין כלשהי ביניהם. דוגמא: תגובת השרפה מתרחשת בין מולקולות / אטומים של חומר ובין מולקולות של חמצן.

**תחמוצת** - תרכובת המכילה חמצן. בדרך כלל נוצרת בתגובת שרפה. דוגמאות: חנקן דו-חמצני -  $\text{NO}_2$ , גפרית דו-חמצנית -  $\text{SO}_2$ , אלומיניום חמצני -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**תקני איכות אוויר** - תקנים ממשלתיים מחייבים הקובעים את רמת הזיהום המרבית המותרת באזור מגורים. נהוג לפרט עבור כל מזהם את הריכוז המרבי המותר לכל מ"ק של אוויר. התקנים אמורים למנוע נזק בריאותי לאדם ופגיעות שונות בסביבה.

**תקני פליטה** - כמויות של מזהמים שמקור כלשהו רשאי לפלוט לפי ההוראות. הכמויות נקובות בדרך כלל בטון/שעה, טון/יום וכו'.

ק

ר

ת

נספח 2

**חוקים ותקנות לשיפור איכות האוויר**

## נספח 3

### חשיבה ירוקה

לפניכם רשימת "טיפים" אשר יכולים לסייע לכם להקטין את טביעת הרגל הפחמנית שלכם<sup>14</sup>.

#### 1. נהיגה "ירוקה"

האם שמתם לב כיצד ההורים נוהגים? אם הם מאיצים בתחילת הנסיעה, נוסעים מהר ואז עוצרים באופן פתאומי, עודדו אותם להתחיל בנסיעה אטית יותר ולהאט לקראת עצירה. פעולה זו תחסוך בזבז דלק ופליטה מיותרת של CO<sub>2</sub>.

#### 2. סעו בתחבורה ציבורית

אם יש לכם אפשרות - השתמשו בתחבורה ציבורית. תחבורה ציבורית משתמשת בכעשירית האנרגיה שמשתמשת בה מכונית פרטית ומסיעה מספר גדול יותר של אנשים.

#### 3. העדיפו הליכה או רכיבה על אופניים

הליכה או רכיבה על אופניים הן הדרכים המומלצות ביותר להגיע לבית הספר. כך, לא רק שכמות ה-CO<sub>2</sub> הנפלטת היא אפסית, אלא אתם גם עוסקים בפעילות גופנית.

#### 4. השתדלו להימנע מהפעלת מיזוג אוויר

כשאתם נוסעים במכונית עם ההורים, עודדו אותם לוותר על מיזוג האוויר באוטו. במקום הפעלת מיזוג אוויר, נסו לחנות במקום מוצל, פתחו חלונות או השתמשו בהצללה בתוך האוטו. אם אתם נוסעים בכביש מהיר - עדיף להפעיל מזגן מאשר לפתוח חלונות שכן פתיחת החלונות מאטה את המכונית וגורמת לפליטת כמות גדולה יותר של CO<sub>2</sub>.

#### 5. סעו עם חברים

הסעות משותפות הן דרך מצוינת לעזרה לסביבה! דברו עם שכניכם או עם חברים בסביבה הקרובה ושתפו את הוריהם בתוכנית הסעות לבית הספר, לחוגים או לטיולים.

#### 6. אכלו "ירוק"

בפעם הבאה שתאכלו ברשת למזון מהיר, שימו לב לכמות האריזות והפלסטיק שאתם מקבלים יחד עם כל מנה. אכילת מזון מהיר יוצרת זבל רב המזיק לסביבה. אם אינכם יכולים לוותר לגמרי על המזון המהיר, בקשו לא לקבל אריזות וניירות מיותרים.

#### 7. עיברו להשקייה "ירוקה"

<sup>14</sup> הרשימה מבוססת בחלקה על האתר: <http://calc.zerofootprint.net/youth/iEarn>



אל תטביעו את הדשא בעודף מים. בקיץ בקשו מההורים לצמצם בהשקייה. רוב הזמן הדשא אינו זקוק לכל כך הרבה מים.

#### 8. השתמשו במכסחת דשא ידנית

האם אתם מכסחים את הדשא? באיזה סוג מכסחת אתם משתמשים? בדרך כלל למכסחות יש מנוע המונע בנפט או בסולר הפולטים CO<sub>2</sub> לאטמוספירה וכן כימיקלים נוספים. השתדלו לשכנע את הוריהם להשתמש במכסחת ידנית. מכסחות אלה הן קטנות, אינן כבדות ונכנסות בקלות למחסן. הצעת עזרה בכיסוח הדשא תעודד את הוריהם לקבל החלטה זו.

#### 9. נסו "כביסה ירוקה"

ודאו שמכונת הכביסה מלאה לפני הפעלתה, כמו כן דאגו להפעילה על תוכנית חוסכת מים.

#### 10. התקינו נורות פלורוסנט חסכוניות

בקשו מההורים להתקין נורות פלורוסנט, שהן חסכוניות יותר מנורות ליבון. נורות הפלורוסנט מחזיקות זמן ארוך – פי 10 ומשתמשות ברבע מהאנרגיה!

#### 11. אפשרו לאור יום לחדור לביתכם

ניצול אור יום חוסך לפחות 25% מהאנרגיה הנדרשת לתאורה. נורת ליבון של 100 וואט הדולקת במשך 12 שעות ביום, לדוגמא, תדרוש 178 קילו פחם לשנה כדי לדלוק. השתדלו לכבות את האור כאשר אינכם משתמשים בה. אור השמש הוא חינם והוא חוסך אנרגיה.

## נספח 4

### מקורות

#### ספרים וחברות

האוניברסיטה הפתוחה (1978). האדם בסביבתו, יחידות 1, 5, הוצאת האוניברסיטה הפתוחה, תל-אביב.  
 ויזל, י. ופישלזון, ל. (1982). אקולוגיה: אדם וסביבתו, קובץ מאמרים. אוניברסיטת תל-אביב. הוצאת ספרית  
 הפועלים בע"מ.  
 מאור, ח. (1993). מגדיר איכות הסביבה. הוצאת מאור בע"מ, תל-אביב.  
 מימון, צ. (1994). הכל מן השמש. המשרד לאיכות הסביבה, איגוד ערים לאיכות הסביבה גליל מערבי.  
 קלציקו, ש., מדאורי, ג. וברק, י. (1993). אקולוגיה ואיכות הסביבה בשילוב מחשב. משרד החינוך, האגף לחינוך  
 התישבותי, נבו הוצאה לאור, ירושלים.

Manahan, S.E. (2009). *Environmental Chemistry*. 9<sup>th</sup> Ed. CRC Press, Boca raton, Florida, CA, USA.

Meszaros, E. (1981). *Atmospheric Chemistry*. Fundamental Aspects. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.

vanLoon, G.W. & Duffy, S.J. (2011). *Environmental Chemistry: A global perspective*. 4<sup>th</sup> Ed. OXFORD University Press, N.Y.

Vallero, D.A. (2008). *Fundamentals of Air Pollution*. 4<sup>th</sup> Ed. Elsevier Inc. Press. London, UK.

#### אתרים מומלצים

<http://www.sviva.gov.il> - המשרד להגנת הסביבה

<http://www.envihaifa.org.il> - איגוד ערים חיפה

[http://ozone.unep.org/Publications/MP\\_Handbook/index.shtml](http://ozone.unep.org/Publications/MP_Handbook/index.shtml) - אמנת מונטריאול

<http://www.adamteva.org.il> - עמותת אדם, טבע ודין

<http://www.cbs.gov.il> - הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/hole.html> - אתר נאס"א למעקב אחר ה"חור" באוזון

<http://www.sustainability.org.il> - אתר Sustainability-org-il כמקור ידע מעשי לחשיבה ירוקה