

# משאבים וסביבה

## מדריך למורה

כתיבה : זאב שטסל  
קרא והעיר : ד"ר נטע עורבי

## תוכן העניינים

5	.....	הקדמה
7	.....	מיט
9	.....	פרק 1 - חיים ומים
13	.....	פרק 2 - משק המים בישראל
20	.....	פרק 3 - ההתמודדות עם בעיות המים
25	.....	אוויר
27	.....	פרק 4 - האטמוספירה
29	.....	פרק 5 - איכות האוויר
38	.....	פרק 6 - השפעת האדם על האקלים ועל האטמוספירה העולמית
43	.....	חומרים בסיסיים בארץ
45	.....	פרק 7 - חומרים כמשאב לאדם
48	.....	פרק 8 - בעיית הפסולת
51	.....	פרק 9 - התמודדות עם בעיית הפסולת



## הקצנה

מדריך זה מתייחס לרעיונות ולמושגים המרכזיים בספר לתלמיד, ומלווה בהצעות דידקטיות ובתשובות לחלק גדול מהשאלות הכלולות בספר. שאלות שלא ניתנה להן תשובה במדריך, הן שאלות שהתשובה כתובה במפורש בספר לתלמיד. בדרך כלל נמנענו מלהציג שאלות מסוג זה, למעט מקרים שבהם הנושא מורכב מאוד, וחזרה על החומר באמצעות שאלות כאלה עשויה לסייע בלימוד. חשוב לציין כי התשובות המובאות במדריך אינן בהכרח התשובות היחידות, ולחלק מהשאלות ייתכנו תשובות נוספות.



מיס





## פרק 1

### חייס וא'ס

#### רעיונות מרכזיים

- מים הם משאב מתחדש.
- צריכת המים לנפש תלויה ברמת החיים.
- סוגי החומרים שנוספים למים וריכוזם קובעים את איכות המים.
- המושג "איכות מים טובה" משתנה בהתאם לצרכים שהמים משרתים.

#### מושגים מרכזיים

איטרופיקציה  
 מדדים פיזיקליים  
 מדדים כימיים  
 מדדים ביולוגיים  
 מדדים רדיולוגיים  
 צח"ב  
 צח"כ  
 עכירות  
 הגברה ביולוגית  
 סמנים (נתבים)

#### הערות דידקטיות

- מומלץ מאוד להתחיל את הוראת הספר בלימוד חלקו הראשון של פרק זה, המציג את הנושאים הבאים:  
 - זמינות המים בעולם  
 - מחזור המים והמים כמשאב מתחדש  
 - צריכה ואספקת מים בעולם  
 ייתכן שלחלק גדול מהתלמידים המידע לא יהיה חדש כי הוא נלמד ביחידות אחרות, אך זוהי חזרה חשובה.
- חלקו השני של הפרק עוסק במדדים לאיכות מים. בשלב זה, חשוב שהתלמידים יכירו את נושא המדדים באופן כללי בלבד. לימוד המדדים לסוגיהם ישולב בהוראת

הפרקים שבהם מדדים אלו הם רלוונטיים. למשל: נושא האיטרופיקציה בעת הוראת הפרק על הכינרת, וצח"ב בעת הוראת נושא השפכים.

- בבתי ספר המצוידים בערכות למדידת איכות המים, מומלץ לבדוק במעבדה עם התלמידים איכויות מים שונות, למשל: מי ברז, מי אקווריום או ברכת נוי, מי ברכת דגים ועוד. ניתן גם לבצע בדיקה של צח"ב למקורות מים אלו על פי ההנחיות שבספר. לשם כך נחוץ אינקובטור.
- פרק זה כולל הסבר על מדדי איכות המים, וחשוב לציין עובדה זאת בפני תלמידים שמבצעים עבודות אקוטופ בנושאים הקשורים לאיכות המים.

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 14

- א. בהיעדר מערכת אספקת מים, לא ניתן לבצע ניטור של מי השתייה וגם לא ניתן לבצע במרוכז פעולות להבטחת איכות המים, כגון הכלרה וסינון.
- ב. על רשויות השלטון ליטול את האחריות לאספקת מים. במסגרת זו עליהן לפקח על איכות המים, לבצע פעולות לטיפול במים ולנקוט פעולות למניעת זיהום מקורות המים.

### שאלות בעמ' 17

2. חומרים מוצקים נמצאים במים, אך אינם מגיבים עמם. לעומת זאת, חומרים מומסים מגיבים עם המים ויוצרים תמיסה. חומרים מוצקים גורמים לעכירות המים, ואילו חומרים מומסים אינם גורמים לשינוי בצלילותם אם כי צבע המים עשוי להשתנות.
4. השינוי המשמעותי ביותר במים עכורים, הוא חדירת האור למים. כתוצאה מכך קטנה יכולתן של אצות לבצע פוטוסינתזה, ובעקבות כך ירד ריכוז החמצן המומס במים. יצורים אירוביים עלולים להיפגע מכך.

### שאלות בעמ' 21

1. תוצר הנשימה של היצורים האירוביים הוא פחמן דו חמצני שאינו מזיק לסביבה. לעומת זאת, תוצרי נשימתם של יצורים אנאירוביים הם גזים שונים (השונים מיצור ליצור), כגון מתאן ( $CH_4$ ) תרכובות גופרית ועוד. לחלק מהגזים ריחות רעים וחלקם רעילים.

גורמים אביוטיים	גורמים ביוטיים
בתחילת התהליך, עלייה בריכוז החמצן במים, ובהמשך כמות החמצן יורדת לאפס.	בתחילת התהליך, עלייה בריכוז האצות עקב אספקה רבה של חומרי הזנה, ובהמשך מוות המוני שלהן.
עלייה בעכירות המים עקב התרבות האצות.	בשלב מתקדם של התהליך, מוות של יצורים אירוביים בגלל היעדר חמצן.
עלייה בריכוז גזים המדיפים ריחות רעים, כגון תרכובות גופרית.	לאחר מות האצות, התרבות של מפרקים אנאירוביים.

ב. לפני תהליך האיטרופיקציה, נשמרה כמות קבועה ונמוכה של אצות במים (רמת היצרנים בשרשרת המזון) מכיוון שלא עמדו לרשותן כמויות גדולות של חומרי הזנה. במצב זה הוגבלו גם אוכלוסיות הצרכנים המתבססות על הייצור הראשוני של האצות, וגודלן של כל האוכלוסיות נשאר קבוע.

4. התהליכים הטבעיים אורכים זמן. בזמן הזה המים אינם מתאימים למרבית השימושים, והם גם מהווים מפגע שיכול להוות סיכון בריאותי.

### שאלות בעמ' 25

1. מליחותן של הקרקעות במדבר גבוהה משום שמרבית הגשמים היורדים במדבר מתאדים ומותירים בקרקע את המלחים המומסים בהם. מי גשמים שמצליחים להגיע למי התהום, ממיסים בדרכם את המלחים שבקרקע, וכך נוצרים מי תהום שריכוז המלחים בהם גבוה.

3. א. ריכוז חמצן גבוה במיוחד צפוי במים זורמים שמתקיים בהם ערבול תמידי עם האוויר. כמו כן נצפה למצוא רמה גבוהה של חמצן בשעות היום במאגרי מים שבהם יש ריכוז גבוה של אצות.

ב. ריכוז נמוך במיוחד צפוי בגוף מים שאינו חשוף לאוויר, בגופי מים שהטמפרטורה שלהם גבוהה מאוד וכן בגופי מים בשלב מתקדם של איטרופיקציה.

4. א. ככל שהטמפרטורה נמוכה יותר ניתן לקבל בהם ריכוזי חמצן גבוהים יותר.

ב. ראו תשובה, לשאלה 3 ב.

7. מתכות כבדות אינן עוברות תהליכי פירוק על ידי יצורים חיים. תהליכים טבעיים אחרים כגון: תחלופה של המים במאגר, ויציאת חומר אורגני שבו נספגו המתכות הכבדות אורכים זמן רב. טכנולוגיות לסילוק של מתכות כבדות מהמים אינן ישימות במאגרי מים גדולים.

**שאלות בעמ' 29**

1. אם כמות החמצן במים מאפשרת פירוק אירובי של כל החומר האורגני שבתוכם, יתפרק רוב-רובו של החומר בפרק זמן של 5 ימים.
2. המהילה נדרשת, משום שאם כמות החומר האורגני במים גבוהה מהכמות שניתן לפרק באמצעות חמצן המצוי במים, יישאר במים חומר אורגני שלא פורק ותוצאת הבדיקה לא תהיה נכונה. (בתנאי הבדיקה של  $20^{\circ}$ , ריכוז הרוויה של החמצן במים הוא 9 מיליגרם חמצן לליטר, כלומר זהו ערך החמצן המרבי שבו ניתן להתחיל את הבדיקה).
3. א. הצח"ב  $5 \quad 7-2=5$   
 ב. הצח"ב  $50 \quad (6-1) \times 10=50$
5. ריכוז החיידקים במים תלוי בתנאי הסביבה. אם ייווצרו תנאים מתאימים עשוי הריכוז לרדת – כך קורה, למשל, אם מוזרמים שפכים למים באירוע חד-פעמי. החיידקים צורכים את החומר האורגני שבשפכים, ועם הזמן כאשר ריכוז החומר האורגני יורד, יורדת במקביל גם כמות החיידקים. לעומת זאת, מתכות כבדות אינן עוברות תהליכים של פירוק ביולוגי, ולכן ריכוזן עשוי להישאר ללא שינוי זמן רב.

## פרק 2

# פרק המים בישראל

### רעיונות מרכזיים

- תנאי האקלים באזורנו גורמים לכך שהמים בישראל הם משאב במחסור.
- יש לנהל את צריכת המים באופן שתמנע הידלדלות של מקורות המים.
- קיימים תהליכים טבעיים המונעים המלחה של מי תהום והתרבות חיידקים בתוכם.
- שימוש במי תהום ו/או השקיה עלול להשפיע על איכות מי התהום ולכן יש להשתמש בהם תוך התחשבות בתהליכים הטבעיים המתרחשים באקוות.
- קשה מאוד לשקם מאגרי מי תהום שזוהמו, ולכן חשוב מאד למנוע מראש את זיהומם.

### מי הכינרת

- על איכות מי הכינרת משפיעים:
  - מערכת הנביעה של מעיינות מלוחים בקרקעיתה.
  - תהליכים ביולוגיים במערכת האקולוגית של האגם.
- שמירה על איכות מי הכינרת מחייבת הכרה של התהליכים הטבעיים באגם והתחשבות בהם.

### הנחלים

- מרבית הנחלים בישראל זוהמו, והדבר השפיע לרעה על סביבתם ועל המערכות האקולוגיות שהתקיימו בהם.
- שיקום הנחלים מונע את המשך הפגיעה בסביבה ומאפשר להפוך את הנחלים לאתרי טיול ונופש.

### מושגים מרכזיים (מושגים עיקריים באות גדולה ואחרים באות קטנה נטויה)

מים שפירים  
 קו אדום עליון  
 קו אדום תחתון  
 אוגר תפעולי  
 אוגר בלתי פעיל  
 מילוי שנתי חוזר  
 נהר בינלאומי  
 מדינה עילית  
 מדינה תחתית  
 אקווה (אקוויפר)

*אקווה חופשית*

*אקווה כלואה*

*אקווה לכודה*

*אקווה שעונה*

אקוויקלוד

מעין

נגר עילי

פן ביני

*אפילימניון*

*היפולימניון*

*תרמוקלינה*

פרידיניום

מעיינות מלוחים

מוביל מלוח

המוביל הארצי

## הערות דידקטיות

- חלקו הראשון של פרק זה כולל את עקרונות היסוד לניהול השימוש במקור מים כלשהו. מומלץ ללמד חלק זה ביסודיות כדי שהתלמידים יוכלו להבין בהמשך את האופן שבו מיושמים עקרונות אלו בניהול מקורות המים בישראל.
- פרק זה מתמקד במים בישראל אולם מאחר שבעיית המים של ישראל היא חלק מבעיית מחסור המים באזור המזרח התיכון כולו, הבאנו בעמ' 36 תיאור של הבעיה הכלל-אזורית. לנושא זה היבטים פוליטיים בינלאומיים, ויש מקום לדון על כך עם התלמידים. הפתרונות לבעיות הנידונות בפרק זה מוצגים בפרק 3, בעמ' 119.
- תפיסה שגויה רווחת מאוד היא שמי התהום אגורים בקרקע בחללים גדולים. קל מאד לתקן תפיסה זו אם מלמדים באמצעות האירורים שבספר, שממחישים את הנושא.
- דרך נוספת לתיקון התפיסה השגויה היא לשאול את התלמידים מה קורה כאשר חופרים בור בשפת הים. בשלב מסוים מגיעים לחול רטוב; המקום שבו מתחילה הרטיבות הוא מפלס "מי התהום" של מי הים שמצויים בין גרגירי החול. תופעה נוספת שמודגמת בחפירה כזו היא באר. בבור שנחפר מתחילים להצטבר מים מצדי הבור. אלו הם "מי תהום" של מי הים שממלאים את החלל שנוצר, כפי שמי תהום ממלאים תחתית של באר.
- לימוד נושא הכינרת מחייב ידע מוקדם של התלמידים בנושא מבנה ותפקוד של מערכת אקולוגית. במידת הצורך, יש לחזור על נושא זה. מומלץ מאוד לשלב סיור לימודי באזור הכינרת. ניתן לבצע פעילות עם התלמידים במעבדה הצפה הפועלת בכינרת (פרטים בטלפון 04-6653776 ובכתובת:

– סיוור מומלץ נוסף הוא באתר ספיר – [http://www2.yarden.ac.il/kinneret/kinneret\\_lab.htm](http://www2.yarden.ac.il/kinneret/kinneret_lab.htm).  
המקום שבו שואבים את המים מהכינרת (פרטים בטל' 04-6726399 ובכתובת <http://www.mekorot.co.il/frameset.asp?content=letayel/letayel.html>).

- בנושא אספקת המים מומלץ לסייר באתרי "מקורות" במעיינות הירקון (לתיאום הביקור, טל' 03-9388961) ובאתר שמחה ליד שדרות (טל' 08-6620666). עוד פרטים בכתובת <http://www.mekorot.co.il/frameset.asp?content=letayel/letayel.html>...
- בנושא שיקום נחלים מומלץ לצאת לסיור לימודי לאורך נחל הנמצא בתהליך שיקום. לשם כך יש ליצור קשר עם רשות של נחל, הפועלת בקרבה גיאוגרפית לבית הספר.

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 35

3. לאורך השנים השתמשו בישראל בכמויות מים שהיו גדולות מהמילוי החוזר השנתי הממוצע. ממי התהום, ולעתים גם מהכינרת, נשאבו כל המים מהאוגר התפעולי, הייתה חריגה מהקווים האדומים ושאיבה מהאוגר הבלתי פעיל.
5. אם רוצים לשאוב מים כל השנה, חובה שיהיו מים באוגר התפעולי, כלומר מעל לקו האדום, אחרת השאיבה תוציא מים מהאוגר הבלתי פעיל.
6. המים באוגר הבלתי פעיל חשובים בכדי למנוע תהליכים שעלולים לפגוע באיכות המים במאגר באופן בלתי הפיך.

### שאלות בעמ' 40

1. א. המשמעות היא שבמדינה כזו, כמות המים ממקורות מתחדשים בתחומיה, גדולה מהכמות שנחוצה לתושבים. המדובר במדינות עם שפע של מים, כגון תורכיה, אירן ולבנון.  
ב.. מדובר במדינה שבה התושבים צורכים מים יותר מהכמות המתחדשת ממקורות טבעיים שבתחומי המדינה. במדינות אלה קיים מחסור במים והן תלויות באספקת מים ממקורות שמחוץ לתחומי המדינה, לדוגמה: מצרים, ירדן וישראל.

### שאלות בעמ' 48

2. במקומות שבהם מי התהום קרובים לפני השטח ומבנה הקרקע מגביר את נימיות הקרקע, יש סיכוי להמלחת הקרקע. זאת, משום שהמים העולים מתאדים, והמלחים המומסים בהם נותרים בקרקע. בקרבתם של מעיינות במדבר מוצאים פעמים רבות את המלח על פני הקרקע.
6. ברגע שהמים מגיעים לקרקע, חלקם מתאדה ואינו מחלחל למי התהום. המלחים שהיו מומסים במים שהתאדו, נותרים במים שלא התאדו, וכתוצאה מכך עולה בהם שיעור המליחות. כמו כן, בעת חלחול המים למי התהום, הם ממיסים מלחים שהצטברו בקרקע, וגם תופעה זו מגדילה את מליחותם של המים המגיעים בסופו של דבר למי התהום.

7. באזורים שחונים, התאדות מים מהקרקע היא גבוהה מאוד. באזורים אלו נפוצים אירועי גשם שאין בהם כמויות גדולות של מים. באירועים אלו כל המים מתאדים מהקרקע ומותירים בה את המלח. בעת אירוע גשם משמעותי שחלק ממימיו מחלחלים למי התהום, המים נתקלים בדרכם בכמויות גדולות של מלח שמומס בהם, ובסופו של דבר הם מגיעים למי התהום עם שיעור מליחות גבוה יחסית.
8. במצב טבעי, ללא התערבות האדם, קיים איזון בין כמות המלח שנכנסת למי התהום והכמות שיוצאת מהם. כידוע, מי תהום באקוות שאינן כלואות, זורמים אל הים או פורצים החוצה במעינות. המים שעוזבים את מי התהום, מנקזים עמם גם את המלחים המומסים בהם.

### שאלות בעמ' 52

1. התשובה חיובית. זאת מכיוון שבכל מחזור של השקיה יתאדו חלק מהמים ויותר בקרקע את המלחים המומסים בהם. מלחים אלו יומסו מחדש במי גשמים שיחלחלו למי התהום. אם כמויות הגשמים היורדות באזור אינן גדולות, המלחים הנשטפים מהקרקע אינם נמהלים בכמות מים גדולה, ומליחות מי התהום עלולה אפוא לעלות באופן משמעותי.
3. במצב כזה לחץ המים המתוקים על מי הים שמתחם יקטן, ולכן הפן הביני יחדור עמוק יותר ליבשה ויהיה קרוב יותר לפני הקרקע. משמעות הדבר היא שמי הים יהיו קרובים יותר לפני השטח והמים בבאר יומלחו.
4. מי השפכים מכילים כמויות גדולות של מלחים. מקור המלחים הוא מפעלי מזון שמכשירים בשר, חומרי ניקוי ופסולת מזון.
5. למעשה, מי תהום יכולים להשתקם רק אם המים המזוהמים יתנקזו החוצה ממאגר מי התהום (על ידי זרימה לים, זרימה במעינות או שאיבה) ומים שאיכותם טובה יחליפו את המים המזוהמים. מאחר שזמן השהייה של מים במאגרי מי התהום הוא ארוך, תהליך השיקום עלול להימשך זמן רב מאוד (עשרות שנים).
6. נוכחות של חנקות במים מעידה על זיהום אורגני שמקורו בשפכים או בדשנים. לפיכך מי תהום שיש בהם חנקות, הם מים מזוהמים.
7. בשנים שחונות, קטנה כמות המים המגיעה לאקוות, וכתוצאה מכך חלה ירידה במפלס מי התהום. ירידת המפלס נגרמת באופן טבעי, משום שנמשכת יציאת מים ממי התהום דרך מעיינות או בזרימה לים. אם נמשכת גם שאיבה על ידי האדם, ירידת המפלס גדולה יותר. כאשר מפלס מי התהום יורד באזורים הקרובים לים, מליחות מי התהום עלולה לעלות בשל חדירת הפן הביני לכיוון היבשה. במקומות שבהם מי התהום ממיסים גופי מלח הנמצאים אתם במגע, יעלה ריכוז המלחים מכיוון שהם מומסים בגוף מים קטן יותר. כשמפלס מי התהום יורד, במקומות שבהם מי תהום מתוקים חוסמים (על ידי לחץ) חדירה של מים מליחים, עלולים המים המליחים לחדור ולתפוס את מקומם של המים המתוקים.



### שאלות בעמ' 55

1. מעל לאקוות ההר, מקורות הזיהום הם מעטים בהשוואה לאקוות החוף. בחלק גדול מאקוות ההר, גם אין למים מגע עם גופי מלח או עם מים מליחים, ולכן מליחותם של מי התהום באזורים אלו נמוכה בהשוואה לאקוות החוף שבהן המים באים במגע עם מי הים.
2. במסלע קרסטי יש סדקים שדרכם חודרים המים למי בתהום. במקרים רבים, סדקים אלו רחבים והמים חודרים דרכם במהירות.
3. האקווה של החוף היא אקווה חופשית בכל חלקיה. אקוות ההר היא חופשית באזור ההר וכלואה מתחת למישור החוף.
4. כיסוי שטחי קרקע בבניינים ובאספלט מקטין את השטח שממנו מחלחלים מים למי התהום. מים אלו הופכים לנגר עלי וחלקם אובד בזרימה עלית לים.
5. מעל לאקוות החוף יש אזורים עירוניים רבים ואזורי תעשייה מפותחים. אלו יכולים לגרום לזיהום במספר דרכים. שפכים ביתיים ותעשייתיים לא מטופלים הזורמים בנחלי החוף, יכולים לחלחל למי התהום. (כך למשל התגלו מי תהום מזוהמים באזור של מפעלי תע"ש ליד רמת השרון.) מי התהום מזדהמים גם מתשטיפים הנוצרים באתרי פסולת וכן מתשטיפים הנוצרים בכבישים (שתופסים שיעור משמעותי של פני השטח באזור המרכז). גם קיימת סכנה מדליפה של מכלי אכסון לדלק בתחנות דלק ובמסופי חברות הדלק.
6. החלק הבלתי רווי של אקוות החוף מסנן את המים המחלחלים למי התהום. יש הידרולוגים הסבורים כי לאורך השנים הצטברו בחלק זה מזוהמים רבים וגם כמויות גדולות של מלחים. בכל פעם שמי גשמים או מי השקיה מחלחלים דרך חלק זה, הם דוחקים מטה את המזוהמים, ואלו עתידים לבסוף להגיע למי התהום. במילים אחרות, החלק הבלתי רווי הוא למעשה מסנן שהזדהם במהלך השנים, ולכן בסופו של דבר עלולים להזדהם גם מי התהום..

### שאלות בעמ' 62

2. הבעיה של ספקי המים היא שתצרוכת המים השנתית היא קבועה עם מגמה של גידול איטי, לעומת זאת השינויים בכמויות המשקעים השנתיות עלולים להיות גדולים מאוד. לכן אם רוצים לא לחרוג מהקו האדום בכינרת בשנים שחונות, יש לשאוב ממנה פחות מים מאשר בשנים גשומות. המים החסרים יושלמו משאיבה מהאקוות, שגם הן מושפעות מכמויות המשקעים אם כי במהירות הפחותה מזו של הכינרת.
3. על פי התאוריה הראשונה הגורסת כי שפיעת המעיינות המלוחים מושפעת מלחץ מי הכינרת עליהם, יש לשאוף למפלס גבוה ככל האפשר בכינרת. כמו כן לא רצוי לשאוב מים מהאקווה של הגליל המזרחי, שכן מים אלו זורמים אל הכינרת, תורמים לעליית המפלס ומגבירים את לחץ המים. על פי התאוריה השנייה, מי האקווה של הגליל המזרחי נובעים אל תוך הכינרת יחד עם מי המעיינות המלוחים. לפיכך כאשר יש באקווה מים רבים עולה ספיקת המעיינות המלוחים. משום כך דווקא רצוי לשאוב מים מאקוות הגליל המזרחי על מנת להקטין את שפיעת המעיינות.

4. מליחות מי הכינרת גבוהה יחסית למליחותם של מי התהום, ולכן השימוש במי הכינרת להשקיה מוסיף מלחים למי התהום (נוסף למליחות הנוצרת בכל תהליך של השקיה). גם כניסתם של מי הכינרת למערכת הספקת המים הביתית עשויה להעלות את מליחות המים המגיעים למי התהום, מכיוון שאם מים אלו עוברים טיהור והופכים לקולחים, הם מגיעים לשדות ומחלחלים למי התהום.

### **שאלות בעמ' 67**

2. קשירת חנקן חופשי מהאוויר על ידי אצות תגדיל את כמות החנקן בכינרת ותפר את מאזן החנקן באגם.
3. אצות הפרידיניום מכילות בגופן זרחן, ולכן עם מותן והתפרקותן מגיע זרחן זה למי הכינרת.

### **שאלות בעמ' 68**

3. א. הרס בתי הגידול יקטין את כמות האמנונים בכינרת וכך תגדל אוכלוסיית הפרידיניום המהווה מזון לאמנונים.
- ב. אם דג הכסיף יאכל את הזואופלנקטון, תגדל כמות האצות באגם, שכן הזואופלנקטון ניזון מאצות.
- ג. יותר חומרי דשן עלולים להגדיל את כמות האצות ובעקבות כך גם את כמות היצורים האחרים הניזונים מהן. כמות החומר האורגני באגם תגדל.
- ד. השפכים מכילים חנקות וזרחות, ולכן השפעתם תדמה להשפעת חומרי דשן.
- ה. יש בכך סיכון כי אין לדעת כיצד זן זה ישתלב במארג המזון של האגם. הוא עלול, למשל, להקטין את כמותם של יצורים המווסתים את כמות האצות, או להתרבות על חשבון דגים אחרים שנוכחותם באגם רצויה.
- ו. קיימת סכנה של דליפת שפכים לאגם (ראו סעיף ד). בחופים שבהם התנאים הטבעיים משתנים, עלולים להיפגע בעלי החיים וצמחים שהחופים הם בית גידולם. לפגיעה בהם עלולה להיות השלכה על יצורים אחרים שיש להם יחסי גומלין עם יצורים החיים בחוף.
6. הגודל המינימלי בחורי הרשת נקבע על מנת למנוע תמותה של דגיגים צעירים, שיחליפו כשיגדלו את הדגים שנדונו.

### **שאלות בעמ' 73**

1. באזורים חמים, התהליכים הביולוגיים מהירים יותר ואינטנסיביים יותר. לכן הסכנה גדולה יותר.
2. העלייה בכמות החומר האורגני היא אמנם משמעותית ומשפיעה על איכות המים, אבל אין היא מגיעה לריכוזים גבוהים שגורמים לאיטרופיקציה. כלומר, מערכת המפרקים בכינרת מצליחה להתמודד עם תוספת החומר האורגני, לפרק את אצות הפרידיניום המתות ולמנוע פגיע חמורה באיכות המים.

## שאלות בעמ' 79

1. א. מערכות אקולוגיות טבעיות אינן יחידות סגורות ויש להן קשרי גומלין עם מערכות אקולוגיות סמוכות. כך, למשל, המערכת האקולוגית המתקיימת במי הנחל מושפעת מזו המתקיימת בגדותיו. לדוגמה: צמחיית הגדות יכולה לשמש מזון לחלק מהיצורים החיים במי הנחל. דוגמה אחרת: חומר אורגני שנוצר בגדות הנחל יכול להשפיע על איכות מי הנחל.
- ב. במקרה כזה לא תשוחרר המערכת האקולוגית המקורית שהייתה בנחל לפני זיהומו. עם זאת, עשויה להיווצר מערכת אקולוגית שונה, שתהיה יציבה ותכיל מגוון מינים עשיר. אם במערכת האקולוגית שנוצרת מתקיימת איכות מים סבירה, הנחל יכול לשמש לטיולים ולנופש.
2. א. יצורים רבים מסוגלים להתקיים במי קולחים שאיכותם טובה, לכן יש להשתמש בקולחים באיכות גבוהה בתהליך השיקום. עם זאת, ייתכן שיצורים מסוימים לא יוכלו להתקיים במים אלו והם יחסרו במערכת המשוקמת.
- ב. אם המערכת האקולוגית שנוצרת אינה יציבה, אפשר לחקור אלו יצורים יכולים להתאים למערכת ולייצב אותה. לפי תוצאות המחקר, יאוכלס הנחל ביצורים המתאימים. גם ניתן, כמובן, להזרים קולחים באיכות טובה יותר.
3. לשימור השטחים הפתוחים בקרבת הנחל חשיבות רבה, מכיוון ששטח בנוי עלול לפגוע באיכות מי הנחל. למשל, נגר עילי המגיע לנחל משטחים עירוניים, מזוהם בפיח, ומפעלי תעשייה עלולים להזרים שפכים לנחל. לעומת זאת, לשטחים פתוחים - שטחי בור או שטחים חקלאיים שבהם נמנעים משימוש עודף בדשנים וחומרי הדברה - עשויה להיות השפעה חיובית על המערכת האקולוגית של הנחל.
- השמירה על רצף שיקומי לאורך כל הנחל היא חיונית, מכיוון שאם ייוותר קטע מזוהם במעלה הנחל, הוא ישפיע על המערכת האקולוגית שבמורד הנחל.

## פרק 3

# הפתחויות עם השירות המים

### רעיונות מרכזיים

- למי השתייה המסופקים לצרכנים נקבעו תקנים המבטיחים את איכותם. כדי לעמוד בתקנים אלו עוברים המים טיפולים שונים לפני אספקתם לצרכנים.
- שיהור שפכים מונע מפגעים סביבתיים והשימוש בקולחים מסייע לצמצום המחזור במים.
- טכנולוגיות לטיהור השפכים מבוססות בעיקר על יצירת תנאים מתאימים למפרקים לבצע פירוק ביולוגי של השפכים.
- איגום מי שיטפונות מונע אבדן של מים בנגר עילי לים.
- התפלה היא טכנולוגיה שבאמצעותה מרחיקים מהמים את המלחים המומסים בהם.
- הגברת משקעים היא דרך מלאכותית להגביר את כמויות המשקעים הנוצרים מענני גשם.
- חיסכון במים יכול להגדיל את כמויות המים הזמינות. חיסכון ניתן להשיג באמצעים שונים: חינוך, חקיקה, טכנולוגיה.
- ייבוא מים מארצות זרות עשוי לצמצם את המחזור במים.
- החקיקה העיקרית המסדירה את השימוש במים היא "חוק המים", שעל פיו המים הם קניין הציבור ולמדינה ניתנת השליטה במקורות המים ובאופני השימוש בהם.

### מושגים מרכזיים (מושגים עיקריים באות גדולה ואחרים באות קטנה נטויה)

טריהלומתנים

הכלרה

המוביל הארצי

שפכים ביתיים

קולחים

שפכים תעשייתיים

שפכים חקלאיים

קולואידים

צח"ב

צח"כ

ברכות חמצון

בוצה משופעלת

בוצה

קומפוסט

התפלה  
 פריצה רב-דרגתית  
 אוסמוזה הפוכה  
 דיאליזה חשמלית (אלקטרודיאליזה)  
 חוק המים

## הערות דידקטיות

- בפרק זה נמנים פתרונות שונים לבעיית המים. סדר הופעתם בפרק אינו מחייב וניתן ללמד אותם גם בסדר אחר.
- בלימוד נושא טיהור השפכים, מומלץ לארגן סיור למכון טיהור ביישוב שבו נמצא בית הספר. להן פרטים על כמה מרכזים שמקבלים תלמידים:  
השפד"ן - טלפון 03-9635111.  
מכון הטיהור בחיפה - טלפון 04-8410681. במקום ניתן לראות גם ייצור קומפוסט. כמו כן ניתן לשלב בסיור גם את נושא איכות האוויר, מכיוון שיש במקום תצפית טובה על בתי הזיקוק.  
איגוד ערים סח'נין לאיכות הסביבה - טלפון 04-6745247. במקום מרכז הדרכה ומחקר בנושא טיהור שפכים בישובים כפריים.

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 84

1. כיסוי המאגרים ימנע חשיפת המים לאור, ויצורים חיים לא יוכלו להתפתח בהם.
2. היצורים החיים באגם מנצלים את החומר האורגני לקיומם – חלק מהחומר בונה את גופם וחלק אחר הופך לפחמן דו-חמצני בתהליך הנשימה.

### שאלות בעמ' 86

1. מים עליים עשויים להכיל חומר אורגני בכמות גדולה (יש בהם יצורים חיים). לעומת זאת, במי תהום שאינם מזוהמים לא נמצא חומרים אורגנים מכיוון שאין בהם יצורים חיים. גם חומרים אנאורגניים (סחף) נמצאים במים עליים בכמויות גדולות יותר מאשר במי תהום, כי בעת שמים מחלחלים למי התהום, הקרקע פועלת כמסנן שקולט את החומרים המרחפים במים. לכן עבור מים עליים, ייתכן ותידרש מערכת סינון טובה יותר ויידרשו גם פעולות להרחקת גורמים פתוגניים. במי תהום, לעומת זאת, ניתן במקרים רבים לוותר על פעולות אלו. (מים מינרליים בבקבוקים, ממולאים ישירות ממעיין הנובע ממי התהום ולא עוברים הכלרה. ממעיינות שאינם מזוהמים ניתן לשתות ללא חשש.)

2. בדרך כלל, השיקול העיקרי הוא כלכלי. ככל שעולה רמת החיים, עולה נכונותה של החברה (המדינה) להשקיע בשיפור איכות המים המסופקים. לכן אם קיימת טכנולוגיה לשיפור איכות המים במחיר שנראה סביר לקובעי המדיניות, מחמירים את התקנים כדי לאלץ את ספקי המים להשתמש בטכנולוגיה זו. שיקול אפשרי אחר הוא מחקרים מדעיים חדשים, שמזהים גורמי סיכון שלא היו ידועים קודם לכן. במקרים כאלה פועלים לשינויי התקנים לאור הידע החדש.
3. העכירות היא מדד לכמות החומרים הזרים (אורגניים ואנאורגניים) המצויים במים.. ככל שמים עכורים יותר, גדלה הסבירות שאיכותם ירודה. אין זה כלל חד-משמעי, שכן ייתכן מצב שבו קיימים מזהמים מסוכנים גם במים שעכירותם נמוכה (לדוגמה, מתכות כבדות שחלקן עשוי להיות מסוכן גם בכמות קטנה).
5. בהחלט כן, אם כי הסבירות לכך נמוכה. הסיבה היא שייתכן וקיימים במים מזהמים שאינם נבדקים.

### שאלות בעמ' 88

3. תהליך הטיהור אורך זמן, ולכן מים שבקרבת מקור הזיהום יהיו מזוהמים מאוד. רק במורד הנחל, במרחק רב ממקור הזיהום (אם אין מקורות זיהום חדשים בדרך), תעלה איכות המים.
4. חומרים רעילים ליצורים חיים, למשל חומצות ומתכות כבדות מסוימות, לא יאפשרו התקיימותם של החיידקים שאמורים לפרק את החומרים האורגניים ולטהר את המים.

### שאלות בעמ' 96

1. הצח"ב עולה כי במקרה זה החיידקים נשארים במים ואינם שוקעים...  
 2. א. במכל הצללה מנוצל כוח הכבידה. במסננים מנצלם את העובדה שמוצקים מרחפים במים הם גדולים יחסית למולקולות המים, ולכן ניתן לקלוט אותם על ידי מסנן שגודל החורים בו מאפשר מעבר של מים אך לא של מוצקים מרחפים. הפעלתם של מסננים כאלה מחייבת את הזרמת המים דרכם בלחץ גבוה המחייב השקעת אנרגיה.  
 ב. מכלי הצללה, שכן לא נדרשת השקעת אנרגיה בתהליך.

### שאלות בעמ' 99

1. צח"ב הוא המדד לכלל החומר האורגני במים, ריכוז החומרים המרחפים הוא מדד לכלל הגופים הזרים במים (אורגניים ואנאורגניים). מכאן שבמדדים אלו כלולים כל המזהמים במים (אם כי אין הם מעידים על חומרת הזיהום).  
 2. בברכה אירובית נחוץ אור שיאפשר את קיומם של אצות המספקות חלק גדול מהחמצן. כמות האור קטנה ככל שעומק המים גדל, ולכן האצות מתקיימות קרוב לפני המים. שאר החמצן מגיע למים מהמגע שלהם עם האוויר. עד עומק 3 מטרים, יש די אור וגם קיימת השפעת האוויר שנוגעת בגוף המים. לעומת זאת, בברכה אנאירובית אין צורך בחמצן, ולכן אין משמעות לעומקה.  
 3. בשעות אלו, פעילות הפוטוסינתזה של האצות מגיעה לשיאה.

4. בימים מעוננים, כמות האור קטנה, והטמפרטורות נמוכות, ולכן הפעילות הביולוגית מואטת.
6. א. תהיה ירידה ניכרת באיכות הקולחים, מכיוון שהעומס האורגני בברכה האירובית יגדל ותהליכי הפירוק לא יושלמו בה בפרק הזמן שבו שוהים המים בברכה.  
 ב. תפקידה העיקרי של ברכת הליטוש הוא להוריד את רמות האמוניה והניטרט בקולחים.  
 ג. קולחים ללא ברכת ליטוש יכולו רמות גבוהות יותר של חומרים אלו.  
 ד. קיימת אפשרות שלא יתרחש כלל תהליך טיהור אם שפכים אלו מכילים חומרים רעילים שאינם מאפשרים פעילות ביולוגית של מְפָרְקים. גם ייתכן מצב שבו יהיו בברכות תנאים לקיומו של התהליך, אך ביעילות נמוכה יותר.
7. אספקת החמצן בברכה האירובית תיפגע, משום שכמות האור תפחת וקצב הפוטוסינתזה של האצות יקטן. הטמפרטורה הנמוכה תאט את התהליכים הביולוגיים. שני גורמים אלו יקטינו את יעילותו של תהליך הטיהור, ואיכות הקולחים תיפגע.
7. משום שחמצן מוחדר למים בכמויות גדולות באופן מלאכותי.
8. א. אם אין מסלקים את החומר האורגני שאפשר לסלק בטיפול הראשוני, העומס האורגני בהמשך התהליך יהיה גדול יותר, ויעילות התהליך תרד.  
 ב. התהליך משותק לחלוטין. ללא נוכחות חמצן, אפשרי רק פירוק אנאירובי שהוא איטי מאוד יחסית לפירוק האירובי.  
 ג. ייתכן שאוכלוסיית החיידקים המְפָרְקים תהיה קטנה מדי, ולכן פחות חומר אורגני יתפרק בזמן השהייה של השפכים בברכות האוורור.  
 ד. שקיעת החומר המרחף לא תושלם, וכך יישארו במים יותר מוצקים מרחפים (חומרים אורגנים ואנאורגנים).
13. מקור החיידקים הוא בשפכים עצמם. בעת הטיפול בשפכים, מעשירים בדרך מלאכותית את אוכלוסיית החיידקים על ידי החזרת חלק מהבוצה הנוצרת בסוף התהליך אל מכלי האוורור.

### שאלות בעמ' 103

1. יש לערוך ניסוי שבו מוסיפים לדגימות של שפכים חיידקים שונים שמשערים כי הם מסוגלים לפרק את החומרים האורגניים הספציפיים המצויים בשפכים אלו. קבוצות החיידקים שבנוכחותם חל פירוק טוב של השפכים יכולים לשמש את מתקן הטיהור. במקרים רבים יימצאו החיידקים המתאימים בשפכים עצמם ולכן בניסוי רצוי לבדוק תחילה חיידקים אלו.

### שאלות בעמ' 104

2. יש לטפל בחומרים שנותרים בברכות לאחר האידוי, לדאוג לניטרולם או לקבורתם באופן שאינו מסכן את הסביבה.

### שאלות בעמ' 110

1. א. כל טכנולוגיות ההתפלה מיועדות להפריד בין המים לבין המלחים המומסים בהם.

- ב. התפלה דורשת השקעת אנרגיה, ולפיכך אחד הכיוונים האפשריים הוא ייעול השימוש באנרגיה (הגדלת הנצולת). מחירו של התהליך עשוי לרדת גם באמצעות פיתוחים טכנולוגיים שיאפשרו הקמה ואחזקה של מתקני התפלה במחיר נמוך יותר.
3. אוסמוזה הפוכה היא תהליך שבו השקעת האנרגיה הנדרשת נמוכה בהשוואה לתהליכים אחרים.
7. המים מהשימוש הביתי הופכים לבסוף לשפכים שמטוהרים במתקני טיהור שפכים. הקולחים הנוצרים במתקנים אלו משמשים להשקיה בחקלאות, ולכן חשוב שלא יכילו את היסוד בורון.
8. א. השיקול העיקרי הוא כלכלי. יש לבחון את עלות המים המותפלים בהשוואה למים ממקורות אחרים. השוואה זו יש לעשות מתוך ראייה ארוכת טווח. כך, למשל, גם אם ניתן כיום לספק את המחסור באמצעות שאיבת-יתר ממי התהום בעלות נמוכה יחסית להתפלה, בטווח הרחוק פעולה זו עלולה לפגוע במקור מים זה, ובסופו של דבר תהינה לכך גם משמעויות כלכליות.
- אפשרות אחרת להתמודד עם המחסור היא צמצום הייצור החקלאי. לכך יש משמעויות ערכיות, משמעויות בתחום עצמאות אספקת המזון וגם משמעויות סביבתיות (שמירת שטחים פתוחים). לכן, למרות העלויות הגבוהות, יש מקום להתפיל מים כדי להבטיח את המשך קיומה של החקלאות ברמתה הנוכחית.
- שיקול נוסף בזכות התפלה הוא שמתקני ההתפלה יכולים לספק כמויות מים קבועות של בדרגת אמינות גבוהה בהשוואה למים שמקורות אחרים מספקים. כך, למשל, קיימת אי-ודאות בנוגע לכמות המשקעים השנתית ואי-ודאות פוליטית כשמתבססים על מים מיובאים.
- ב. איכות המים צריכה לענות על הצרכים שלהם המים מיועדים. מי שתייה צריכים לעמוד בתקנים למי השתייה. כמו כן יש להבטיח שלא יכילו מרכיבים שעלולים לפגוע בשימושים משניים שיעשו במים. למשל, מאחר שמי השתייה המותפלים עשויים להפוך לקולחים המשמשים בחקלאות, אסור שיימצא בהם בורון הפוגע בגידולים חקלאיים.

### **שאלות בעמ' 112**

1. אוויר מזוהם מכיל חלקיקים רבים המשמשים כגרעיני התעבות. משום כך, כאשר נוצר ענן באוויר מזוהם, מתעבים המים סביב גרעיני ההתעבות הרבים ונוצרות טיפות קטנות מאוד. לעומת זאת, כאשר האוויר נקי ויש בו פחות גרעיני התעבות, יהיו בענן פחות טיפות, אך גדולות יותר. הסיכוי של טיפה קטנה להגיע לגודל של טיפת גשם הוא קטן יותר, ולכן ריבוי של טיפות קטנות, כפי שקיים בענן הנוצר באוויר מזוהם, מקטין את כמות המשקעים.
2. קשה להעריך את היעילות של הגברת הגשם, משום שקשה להעריך כמה גשם היה יורד אלמלא הניסיון להגדיל את כמותו.

### **שאלות בעמ' 120**

3. מים הם מוצר חיוני שלא ניתן להתקיים בלעדיו, ולכן תמיד תתקיים רמה מסוימת של צריכה ללא קשר למחיר המים.



אויף



## פרק 4

### האמנות

#### רעיונות מרכזיים

- טמפרטורת האוויר משתנה עם העלייה בגובה. בחלק מהאטמוספירה הטמפרטורות, יורדות עם הגובה, ובחלק אחר הן עולות עם הגובה.
- בטרופוספירה מתרחשים תהליכי מזג האוויר שאנו מכירים, והיא מבודדת משכבות האוויר שמעליה.
- העננים מורכבים מטיפות מים זעירות או מגבישי קרח זעירים או משניהם יחד. הם נוצרים כאשר האוויר רווי אדי מים ומתרחשת התעבות אדים סביב גרעיני התעבות, או שמתרחשת קפיאה (השקעה) של אדים על גרעיני קיפאון.
- רוב העננים נוצרים בגלל התקררותו של האוויר המכיל אדי מים. על פי רוב, ההתקררות נגרמת כאשר אוויר עולה כלפי מעלה וכתוצאה מירידת הלחץ סביבו הוא מתפשט ומתקרר. לעתים מתקרר האוויר במקום שבו הוא נמצא, למשל בלילה בהיר כאשר האוויר פולט חום לחלל.
- משקעים נוצרים כאשר טיפות המים וגבישי הקרח המרכיבים את העננים, גדלים במידה מספקת להתגבר על התנגדות האוויר לנפילתם. שלג, ברד או גשם ייווצרו בהתאם לטמפרטורה בענן ולקצמת הזרמים בענן.

#### מושגים מרכזיים

אטמוספירה  
 טרופוספירה  
 סטרטוספירה  
 מזוספירה  
 תרמוספירה  
 משקעים  
 גשם  
 שלג  
 ברד

## הערות זידקטיות

- מטרתו של פרק זה לתת לתלמידים מידע בסיסי על תהליכים עיקריים באטמוספירה. ניתן לפתוח את הוראת נושא האוויר בפרק זה, או ללמד קטעים מפרק זה בהקשרים הרלוונטיים לנושאים המופיעים בשאר פרקי הספר. לדוגמה: מפל הטמפרטורות באטמוספירה ומבנה האטמוספירה אפשר ללמד בהקשר לאינברסיה, והיווצרות משקעים – בהקשר לגשם חומצי.

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 129

2. התנאים האטמוספריים בסטרטוספירה הם יציבים. טיסה בגובה זה אינה מושפעת ממוזג האוויר השורר בטרופוספירה.
3. מכיוון שאין כמעט מעבר של אוויר מהטרופוספירה לסטרטוספירה, נותרים מזהמי האוויר בשכבת הטרופוספירה ואינם מתפזרים בנפח אוויר גדול יותר.

### שאלות בעמ' 133

2. אזורים מדבריים שיש בהם אבק רב ואזורים שיש בהם זיהום אוויר בחלקיקים, יהיו עשירים בגרעיני התעבות. באזורים שיש בהם גשמים מרובים ששוטפים את האבק לאדמה, יהיו פחות גרעיני התעבות.
5. באזורים מיושבים, הגשמים עלולים להכיל מזהמים שנפלטו לאוויר מהפעילות האנושית, המזהמים נשטפים חזרה לאדמה עם מי הגשם. חלק מהמזהמים עלולים להגיב עם מי גשם וליצור גשם חומצי. גשמים מסוג זה מורידים, כמובן, את איכות מי הגשם. לעומת זאת, באזורים דלי-אוכלוסין, מי הגשם לא יכילו מרכיבים אלו, ואיכותם תהיה טובה יותר (למעט מקרים שבהם יורדים באזורים אלה גשמים שמקורם בגושי אוויר מאזורים מזהמים).

## פרק 5

# איכות האוויר

### רעיונות מרכזיים

- זיהום אוויר הוא מצב שבו האוויר מכיל חומרים - גזים, נוזלים או חלקיקים מוצקים - בריכוז שיכול להזיק ליצורים חיים, או לחומרים ומתקנים בשימוש האדם.
- מקורות זיהום האוויר הם טבעיים או תוצאה של פעילות האדם.
- מזהמי האוויר נחלקים למזהמים ראשוניים, שמגיעים לאוויר ישירות ממקור הזיהום, ולמזהמים שניוניים, שנוצרים כתוצאה מתהליכים שבהם לוקחים חלק חומרים שנפלטו לאוויר.
- ריכוז המזהמים באוויר נקבע על פי כלל הפליטות המתרחשות באזור נתון ועל פי המהירות שבה המזהמים מסולקים מהאוויר.
- הקטנת ריכוז המזהמים באוויר מתרחשת באמצעות התהליכים הבאים: שטיפה על ידי טיפות גשם, שקיעה של המזהמים לקרקע, פירוק מזהמים, פיזור מזהמים.
- פיזור מזהמים מתרחש אופקית על ידי הרוח ואנכית - באמצעות זרמי אוויר.
- למזהמי האוויר השפעה רבה על בריאות האדם. ההשפעות הבריאותיות נחלקות להשפעות כרוניות (לאורך זמן) ולהשפעות אקוטיות (מידיות).
- זיהום האוויר משפיעה לרעה על הצמחים.
- התחבורה והתעשייה הם המקורות העיקריים לזיהום האוויר.
- דרכי ההתמודדות עם בעיית זיהום האוויר מכילי רכב כוללת אמצעים טכנולוגיים להפחתת הזיהום ותכנון נכון של מערך התחבורה.
- מזהמי אוויר בתעשייה נוצרים בעת ייצור חשמל וייצור מוצרים.
- אופני ההתמודדות עם זיהום אוויר בתעשייה הם בעיקר באמצעות שימוש באמצעים טכנולוגיים להפחתת הזיהום.
- בעיית זיהום האוויר קיימת גם בתוך מבנים.
- בישראל פועלים המשרד לאיכות הסביבה והיחידות הסביבתיות ברשויות המקומיות ליישום חוקים המיועדים להפחית את זיהום האוויר.

### מושגים מרכזיים (מושגים עיקריים באות גדולה ואחרים באות קטנה נטויה)

מקורות נייחים

מקורות ניידים

מזהמים ראשוניים

מזהמים שניוניים  
 שרפה  
 שרפה מושלמת  
 פחמימנים  
 חלקיקים  
 תרכובות אורגניות נדיפות (VOC)  
 פחמן חד-חמצני (CO)  
 גופרית דו-חמצנית (SO<sub>2</sub>)  
 NO<sub>x</sub>  
 ערפיח  
 ערפיח לונדון  
 ערפיח פוטוכימי  
 אוזון  
 PAN  
 אטמוספירה יציבה  
 אטמוספירה בלתי יציבה  
 אינברסיה  
 אינברסיית קרקע  
 אינברסיית רום  
 שכבת הערוב  
 עישון  
 נסועה  
 מנוע בניין  
 מנוע דיזל  
 תערובת עשירה  
 תערובת ענייה  
 ממיר קטליטי  
 משקע אלקטרוסטטי  
 ציקלונים  
 בתי שקים  
 סקרבר  
 ארובה  
 ראדון

## הערות זידקטיות

- הפרק מחולק למעשה לשלושה חלקים:
  - בחלק הראשון (עמ' 135-167) נלמדים מושגי היסוד של זיהום האוויר והשפעותיו המזיקות.
  - בחלק השני נידונים בהרחבה הנושאים האלה: זיהום מתחבורה, זיהום מתעשייה וזיהום במבנים. בכל נושא מוצגות הבעיות ודרכי ההתמודדות.
  - בחלק השלישי מובאת תמונת מצב על זיהום האוויר בישראל וסיכום כללי של המערכת המוסדית המתמודדת עם נושא זה בארץ.
- חשוב להקדיש זמן ללימוד יסודי של החלק הראשון, שכן מושגי היסוד הנלמדים בו הכרחיים להמשך הלמידה.
- נושא הפיזור האנכי של המזהמים הוא אחד הנושאים הקשים בספר ומצריך הבנה של נושא האינברסיה. אינברסיה ופיזור אנכי של מזהמים ניתן להדגים בדרך הבאה:
  - יש למלא באקווריום שכבה של מים קרים ולאחר מכן להזרים לתוכו מים חמים מאוד (מים שרתחו) הצבועים בצבע-מאכל אדום. המים החמים יצופו על פני המים הקרים כשם שהאוויר החם צף על פני האוויר הקר.
  - במצב זה ניתן להדגים מה קורה למזהמים שנפלטים לאוויר במצב של אינברסיה. לשם כך מכניסים צינור גומי לקרקעית האקווריום. דרך צינור זה מזרימים מים פושרים צבועים (למשל צבע ירוק) המדמים מזהמים שנפלטים לאוויר. המים הצבועים החמים יותר מהמים שבקרקעית האקווריום יעלו למעלה אך לא יחדרו את שכבת המים החמים הנמצאת למעלה, כשם שמזהמי האוויר במציאות אינם חודרים לשכבת האינברסיה.
- שאלה 1 בעמ' 63 מחייבת את התלמידים לנתח ולהסביר את מגמות השינוי בפליטת מזהמי אוויר בישראל. ניתן להציג שאלה זו לתלמידים בתחילת הלימוד של הפרק ולבקש שיציעו הסברים אפשריים. לאחר קבלת התשובות, נגיד לתלמידים כי במהלך לימוד הפרק הם יוכלו לבחון את ההשערות שהעלו. לאחר סיום הלימוד יהיו בידי התלמידים הכלים לתת הסברים מלאים למגמות המתוארות בתרשימים.
- בעת לימוד הנושא "זיהום האוויר מהתעשייה", מומלץ לשלב סיור באחד ממפעל התעשייה המתמודדים עם בעיות של זיהום האוויר. לחברת החשמל (<http://www.israel-> [electric.co.il/media/flash/visit/visit.asp](http://www.israel-electric.co.il/media/flash/visit/visit.asp)) ולמפעל "נשר" ברמלה (<http://www.nesher.co.il/nesher/visitors.htm>) מרכזי מבקרים, שבהם המפעלים מציגים את דרכי התמודדותם עם הנושא.
- באתר של חברת החשמל ניתן לצפות בדו"ח איכות הסביבה של החברה. אפשר לבקש מהתלמידים לנתח דו"ח זה בצורה ביקורתית (<http://www.israel-> [electric.co.il/media/flash/sviva/index.asp](http://www.israel-electric.co.il/media/flash/sviva/index.asp)).

- מכשירים הבודקים פליטת מזהמים מכלי רכב מצויים במכוני רישוי וכן במוסכים רבים. אפשר לתאם עם גופים אלו ביקור של התלמידים ולבצע עבודת חקר שבה יאספו התלמידים נתונים על פליטות מזהמים מכלי הרכב המגיעים למקום. ניתוח התוצאות ייעשה בכיתה בהסתמך על החומר שנלמד בנושא "זיהום אוויר מהתחבורה".
- באתר המשרד לאיכות הסביבה ניתן לצפות בנתונים מעודכנים על איכות האוויר ובנתוני ארכיון של מערכת הניטור הארצית (מנ"א) (<http://avir.sviva.gov.il/map.asp>). אפשר לבקש מהתלמידים לעשות עבודות חקר המסתמכות על נתונים אלו.

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 137

1. א. מאז שנות ה-50 גברה המודעות הסביבתית. בעקבות כך נחקקו חוקים שקבעו תקנים האוסרים על מפעלי תעשייה לזהם את האוויר מעבר לקבוע בתקן. במקביל פותחו והשתכללו טכנולוגיות למניעת זיהום בתעשייה ובתחבורה. תכנון מוקדם של אזורי תעשייה מונע גם הוא אירועי זיהום חמורים.
- ב. שיעור הזיהום הנגרם כיום מרכב בודד או ממפעל תעשייה מסוים, קטן בהרבה מהזיהום שנפלט ממקורות אלה לפני 50 שנה. אך במקביל להפחתת הזיהום, גדל מאוד מספר כלי הרכב בעולם והיקף הייצור התעשייתי, ולכן סך הזיהום שנפלט לא פחת בהרבה. באזורים רבים בעולם (בעיקר במדינות המתפתחות) יש כיום תחבורה מוטורית מפותחת ומפעלי תעשייה רבים שלא היו קיימים בשנות ה-50.

### שאלות בעמ' 142

1. שני גורמים עיקריים עשויים להשפיע על מידת זיהום האוויר: הגורם הראשון הוא רמת החיים שבאה לידי ביטוי בתפוקה התעשייתית ובשיעור השימוש בכלי רכב פרטיים; הגורם השני הוא מידת המודעות הסביבתית של האזרחים ושל רשויות השלטון המשפיעה על היקף החקיקה סביבתית ומידת אכיפתה.
2. בפסולת מצוי מגוון גדול מאד של חומרים בהשוואה לדלקים. חלק גדול מחומרים אלו אינו יכול לעבור שרפה שלמה (שתוצריהם מים ופחמן דו-חמצני), ובגזי השרפה נותרים אפוא חומרים רבים שחלקם מסוכנים.
3. חומרי הדלק האורגניים הם חומרים דליקים ששרפתם משחררת אנרגיה. האנרגיה משתחררת כתוצאה מפירוק הקשרים הכימיים בין האטומים במהלך השרפה. (התהליך דומה עקרונית להפקת אנרגיה מחומרי מזון בגופם של יצורים חיים).
4. בכל חומר שאנו שורפים יש יסודות חוץ ממימן, חמצן ופחמן. בעת השרפה יוצרים יסודות אלו תרכובות חדשות שאינן התרכובות של שרפה שלמה. לדוגמה: הגופרית (S) שקיימת בכמויות קטנות בחומרים אורגניים, יוצרת בעת השרפה גופרית דו-חמצנית ( $SO_2$ ). סיבה



- נוספת לכך שקשה להשיג שרפה שלמה היא שבפועל לא ניתן להבטיח ערבוב מלא של מולקולות החומר האורגני עם מולקולות החמצן הדרושות לשרפתן המלאה.
5. פתחי האוורור חשובים על מנת לאפשר אספקה של חמצן. החמצן מאפשר שרפה טובה וכך נמנעת היווצרות CO. האוורור גם מבטיח תחלופה של אוויר במקרה בו עולה ריכוז ה-CO מסיבה כל שהיא.
6. עשן מדורה מכיל מים, פחמן דו-חמצני, ותרכובות שונות שמקורן בשרפה לא מלאה, תרכובות אלו הן לעתים מוצקים (פיח) ולעתים גזים, חלק מהתרכובות הן חומרים אנאורגניים כגון גופרית דו-חמצנית.
7. פעולה כזאת עשויה להועיל. זאת, מכיוון שאם יהיו פחות תרכובות אורגניות נדיפות באוויר, פחות מולקולות של NO יגיבו אתן, ומולקולות ה-NO תהיינה זמינות לנטרול האוזון ולהפיכתו לחמצן.
8. סביר להניח שמזהמים שניוניים יהיו נפוצים יותר באזורים כפריים. באזורים אלה יש פחות מקורות זיהום של מזהמים ראשוניים, אולם מיישובים עירוניים מגיעים אליהם גושי אוויר, שבזמן תנועתם התפתחו בהם מזהמים שניוניים.

### **שאלות בעמ' 154**

1. החומרים מתפזרים באוויר וריכוזם יורד. עם הזמן, חלק מהם שוקע לקרקע או מגיע לקרקע עם מי הגשמים. חלק אחר עובר תהליכים כימיים שמשנים אותם. לעתים אלו חומרים בלתי מזיקים, CO למשל מתחמצן ל-CO<sub>2</sub>.
2. רוחות חזקות יזרוזו את פיזור המזהמים, וריכוזם באוויר ירד מהר יותר. תנאים של אינברסיה עשויים להקטין את עובי שכבת העירוב. כך יוגבל הפיזור האנכי של המזהמים, וריכוזם באוויר יישאר גבוה זמן רב יחסית.
3. א. תרשים א.  
 ב. תרשים א': טמפרטורת הגז נמוכה מטמפרטורת הסביבה, ולכן הוא ינוע למטה.  
 תרשים ב': טמפרטורת הגז גבוהה מטמפרטורת הסביבה, ולכן הוא ינוע למעלה.
5. מצב א - פיזור גרוע מאוד ואיכות אוויר גרועה. לאחר לילה כזה, נוצרת בקרקע אינברסיית קרקע הגורמת לפיזור המזהמים בנפח אוויר קטן מאוד של עשרות מטרים.
- מצב ב - פיזור טוב מאוד, אין אינברסיה, יש רוחות חזקות שמפזרות את המזהמים בנפח אוויר גדול שלמעשה אינו מוגבל בגובהו.
- מצב ג - בקיץ, בשעה 8:00, סביר להניח שאינברסיית הקרקע החלשה שנוצרה בלילה כבר נעלמה, ולכן יהיה פיזור טוב של המזהמים בנפח האוויר המצוי עד לגובה בסיס אינברסיית הרום. אם בסיס אינברסיית הרום גבוה, פיזור המזהמים יהיה בנפח אוויר גדול ואיכות האוויר תהיה סבירה; אם בסיס אינברסיית הרום נמוך, יילכדו המזהמים בשכבת אוויר דקה יותר של מאות מטרים ספורים ואיכות האוויר תהיה ירודה יותר.
6. מצב א - פיזור גרוע, המזהמים נפלטים מתחת לבסיס האינברסיה, ולכן הפיזור שלהם מוגבל עד גובה 600 מטר.

- מצב ב - פיזור סביר, המזהמים מפוזרים בנפח אוויר גדול יחסית עד לבסיס אינברסיית הרום בגובה 2000 מטר.
- מצב ג - פיזור מצוין, המזהמים נפלטים מעל לשכבת אינברסיית הרום ומפוזרים כלפי מעלה ללא מגבלה.
- מצב ד - פיזור מצוין, המזהמים נפלטים לאטמוספירה בלתי יציבה בכל חתך הגובה, ולכן הם מפוזרים כלפי מעלה ללא מגבלה.
7. מצב א - פיזור גרוע, המזהמים נפלטים מתחת לבסיס האינברסיה, ולכן הפיזור שלהם מוגבל עד לגובה 600 מטר.
- מצב ב - פיזור סביר, המזהמים מפוזרים בנפח אוויר גדול יחסית עד לבסיס אינברסיית הרום בגובה 2000 מטר.
- מצב ג - פיזור גרוע מאוד, המזהמים נפלטים מתחת לשכבת אינברסיית הרום, שהיא במקרה זה נמוכה מאוד, ולכן הם מפוזרים רק עד לגובה 400 מטר.
- מצב ד - פיזור מצוין, המזהמים נפלטים לאטמוספירה בלתי יציבה בכל חתך הגובה ולכן הם מפוזרים כלפי מעלה ללא מגבלה.
8. הסבירות למצב זיהום אוויר חמור גדולה יותר בחורף, כיוון שבעונה זו נוצרת אינברסיית קרקע חריפה יותר למשך זמן ארוך יותר.
9. תחנה זו ממוקמת במרכז תל אביב, לכן עיקר הזיהום באזור זה הוא מהתחבורה. מהתרחשים עולה בבירור שיותר מקרים שבהם נמדדת איכות אוויר גרועה, מתרחשים בחורף. הסיבה לכך היא שבחורף נפוצים יותר אירועים של אינברסיית קרקע חריפה.
10. סמוך לארובה, המזהמים עולים למעלה בכוח העילוי שיש לגזים הנפלטים מהארובה בלחץ ובטמפרטורה גבוהה, ולכן הם אינם מגיעים לקרקע. גם במקרים שבהם אינברסיית הרום מסיטה את העשן כלפי מטה, המפגש עם בסיס האינברסייה מתרחש בדרך כלל במרחק מה מהארובה בכיוון נשיבת הרוח.
13. מבחינת פיזור מזהמים מהתעשייה, עדיף היה לבנות את אזורי התעשייה על הכרמל, ואת אזורי המגורים - במפרץ. כך ניתן היה להבטיח כי מזהמים מהתעשייה ייפלטו תמיד מעל לשכבת האינברסייה. כמובן, בתכנון העיר היו גם שיקולים נוספים.

### **שאלות בעמ' 164**

2. עישון הוא הרגל נרכש, וניתן לכאורה למנוע זיהום אוויר ממקור זה לחלוטין בלי לפגוע בסדרי החיים הרגילים. לעומת זאת, לא ניתן להימנע לחלוטין מזיהום אוויר שמקורו בתחבורה ובתעשייה.
3. העלויות הן בעיקר הטיפול הרפואי והנפשי באנשים שחלו עקב עישון.

### **שאלות בעמ' 166 למעלה**

- א. הצמח צריך להיות רגיש למזהם ספציפי ועמיד לשאר המזהמים.

ב. יש לבצע נסויי מעבדה שבהם ייחשפו הצמחים או החזיות למזהמים שונים ותיבחן תגובתם.

### **שאלות בעמ' 166 למטה**

3. א. חשיפה ממושכת מטילה עומס קבוע ומתמשך על המערכות שצריכות להתמודד עם הזיהום. נזקים קטנים שמתמשכים לאורך זמן, יגרמו בסופו של דבר נזק גדול.  
 ב. מזהמים קטנים חודרים ביתר קלות מבעד למנגנוני ההגנה של הגוף שערוך להתמודד טוב יותר עם חלקיקים גדולים יותר.
6. א. התקנים צריכים להביא בחשבון לא את יכולתה של כלל האוכלוסייה להתמודד עם השלכות הזיהום, אלא את יכולתן של קבוצות סיכון.  
 ב. התכנון הסביבתי, בצירוף תקני הסביבה, צריך לגרום לכך שרמות הזיהום שהאוכלוסייה נחשפת אליהן יהיו נמוכות ככל האפשר ושאר קבוצה באוכלוסייה לא תינזק. לשם כך יש להרחיק מפעלי תעשייה מאזורי מגורים ולתכנן מערך התחבורה שיצמצם ככל שניתן את הנסועה.

### **שאלות בעמ' 179**

3. לרכב כזה צריכים להיות ביצועים דומים או טובים יותר מאשר לכלי רכב שפועלים על בנזין או דיזל, ומחירו צריך להיות דומה או נמוך ממחירו של רכבי הבנזין או הדיזל.
4. הקשיים יהיו: הצורך להקים מערך לתדלוק בדלק החלופי, הצורך להכשיר כוח אדם לטיפול בסוג הרכב החדש, הצורך בהסברה ובפרסום שישכנעו את הציבור ביתרונותיהם של כלי הרכב החדשים.

### **שאלות בעמ' 181-182**

3. מצב א - עולה כמות הפחמימנים וה- CO ויורדת כמות ה- $\text{NO}_x$ .  
 מצב ב - עולה כמות ה- $\text{NO}_x$  ויורדת כמות הפחמימנים וה- CO.  
 מצב ג -  $\text{NO}_x$  נוצר כתוצאה מתגובה של חמצן עם חנקן באוויר, בתנאים של טמפרטורה גבוהה הנוצרת בתהליך השרפה. במצב של תערובת עשירה, טמפרטורת השרפה היא נמוכה בגלל מחסור יחסי בחמצן, ולכן נוצרים מעט  $\text{NO}_x$ .
4. יחס העירוב שקובע יצרן הוא זה שבו הדלק מנוצל באופן המיטבי להפקת אנרגיה. דלק שנוצל להפקת אנרגיה, פולט לאוויר אדי מים ופחמן דו-חמצני שאינם מזיקים לבריאות. לעומת זאת, הדלק שלא נוצל, נפלט לאוויר בדרך כלל כתרכובות מזהמות.
6. ככל שאוקטן הדלק גבוה יותר, נצילות המנוע גדלה. כלומר המנוע מפיק יותר אנרגיה ליחידת דלק. בעקבות כך נצרך פחות דלק ונוצרים אפוא פחות מזהמים.
9. א. אין מטילים מסים על מנת לעודד את השימוש בו.  
 ב. השימוש בגפ"מ אינו נפוץ מכיוון שהוא מחייב שינוי במבנה המנוע והרכב. כמו כן יש צורך בהקמת מערך מיוחד של תדלוק.

### שאלות בעמ' 188-189

2. קל יותר להתמודד עם זיהום אוויר שמקורו בתעשייה. זאת, מכיוון שמדובר במקורות זיהום נייחים, שמספרם קטן בהרבה ממספר כלי הרכב וניתן לפקח על כל אחד מהם בנפרד. למפעלי תעשייה אפשר לקבוע תקנים המיוחדים לכל מפעל (צו אישי), מה שלא ניתן לעשות לגבי כלי רכב. כמו כן, מכיוון שמפעלי תעשייה הם מקורות זיהום נייחים, ניתן לתכנן את מיקומם באופן שהתנאים הטבעיים יאפשרו פיזור טוב של המזהמים. תכנון כזה לא ניתן ליישם לגבי רכב שנמצא בתנועה ממקום למקום, גם אם ניתן במידה מסוימת לתכנן את מיקום הכבישים בהתאם לתנאים הטבעיים. עניין נוסף הוא הגידול המהיר במספר כלי הרכב. על אף שהזיהום ממכונית בודדת קטן עם השנים בעקבות שיפורים טכנולוגיים, מספר כלי הרכב גדל באופן משמעותי, וכך סך כל הזיהום עלול לגדול. בהשוואה לגידול במספר כלי הרכב, הגידול בייצור התעשייתי הוא אטי יותר, ולכן בתעשייה ניתן לרוב להבחין מהר יותר בהפחתת הזיהום כתוצאה משיפורים טכנולוגיים.
3. שימוש בדלק דל-גופרית ודל-אפר ושימוש בגז טבעי, הם טכנולוגיות נקיות. שימוש במסננים ושימוש בארובות גבוהות הם טכנולוגיות מנקות.
4. גופרית דו-חמצנית נוצרת בגלל נוכחות של גופרית בדלק. אם משתמשים בדלק דל-גופרית, תיווצר פחות גופרית דו-חמצנית. כמו כן קיימת גם טכנולוגיה להרחקת הגופרית הדו-חמצנית מגזי הפליטה. לעומת זאת,  $\text{NO}_x$  הוא מזהם שניוני, תוצר של תגובת החנקן והחמצן באוויר בתנאי הטמפרטורות הגבוהות של השרפה. לא ניתן למנוע את היווצרות ה- $\text{NO}_x$  באוויר שבו מתרחשת שרפה.
6. א. היחידה צריכה לפנות למפעל ולדרוש ממנו לעמוד בתקנים. אם המפעל ממשיך לחרוג מהתקנים, היחידה הסביבתית תנקוט נגדו הליכים משפטיים.
- ב. אם ישנה חריגה בתקני הסביבה, יש תחילה לבדוק האם קיימים בסביבה מפעלים שאינם עומדים בתקני הפליטה. אם כל המפעלים עומדים בתקנים, ייתכן שמספר מקורות הזיהום הוא גדול, ולכן יש לבדוק את האפשרות להחמיר את תקני הפליטה של מפעלים שיכולים להשתמש בטכנולוגיות מתקדמות יותר להפחתת זיהום. אפשרות נוספת היא לייזום פעולות תכנוניות שבמסגרתן יועברו מהאזור חלק מהמפעלים וייאסר על מפעלים נוספים להתמקם בו.

### שאלות בעמ' 192 למעלה

1. קירות המבנים מכילים מעט אורניום מכיוון שמלט שממנו הם בנויים מיוצר מסלעים וקרקע, ואלו מכילים כמויות מסוימות של אורניום.
2. סרטן הריאות הוא הסכנה המשמעותית ביותר של החשיפה לרדון מכיוון שהאוויר שאנו נושמים מגיע לריאות, ואם האוויר מכיל חומר מסרטן, הוא עלול לפגוע בתאי הרקמות שאתן הוא בא במגע.

### שאלות בעמ' 192 למטה

1. במדינות מפותחות תהיה חשיפה רבה יותר למזהמים שמקורם בחומרים סינתטיים המרכיבים את מוצרי הצריכה ואת החומרי הבניין. במדינות מתפתחות, עיקר החשיפה תהיה לעשן שמקורו בשרפת עץ לבישול והסקה.
2. במקרים רבים, הירידה באיכות האוויר במבנים היא כתוצאה מנוכחותם של חומרים סינתטיים וחומרים אחרים שמקורם במבנים ובמוצרי הצריכה. מכיוון שמספרם של חומרים אלו גדול מאוד ושונה בכל חדר, לא ניתן למעשה לנטר את נוכחותם.

### שאלות בעמ' 197

1. א. כללית, התמונה שונה לגבי מזהמים שונים. בחלק מהמזהמים חלה בשנים האחרונות ירידה כתוצאה מנקיטת פעולות שונות (ראו להלן). ירידה זו פסקה בסביבות שנת 2000 ושוב התחילה עלייה ברמות הזיהום כתוצאה מגידול מספרם של כלי הרכב.
 

המזהמים השונים:

**פחמן חד-חמצני** – ירידה בעקבות הכנסת ממירים קטליטיים לכלי הרכב.

**תחמוצות גופרית** – נשמרת רמה קבועה פחות או יותר למרות הגידול בייצור החשמל. ניתן ליחס זאת למעבר לדלקים דלי-גופרית.

**תחמוצות חנקן** – עלייה קבועה ומתמשכת. זהו מזהם שניוני שאין כיום טכנולוגיה שיכולה למנוע את היווצרותו. לכן העלייה משקפת באופן ישיר את הגידול בצריכת האנרגיה.

**פחמימנים מכלי רכב** – בדומה לפחמן החד-חמצני, חלה ירידה בעקבות הכנסת ממירים קטליטיים לכלי הרכב.

**עופרת** – עם הכנסת הממירים הקטליטיים, הוצאה העופרת מהדלק של המכוניות החדשות (משנת ייצור 93 ואילך) ולכן חלה ירידה במזהם זה. בשונה מהמזהמים האחרים, ירידה זו נמשכת גם לאחר שנת 2000, כי הולך וקטן מספרן של מכוניות ישנות שעדין צורכות דלק עם עופרת.

**חלקיקי אבק מרחף** – במזהם זה ניכרה ירידה באמצע שנות ה-90 בעקבות הכנסת הממירים הקטליטיים. את הירידה בתחילת שנות ה-80 ניתן לייחס להכנסת טכנולוגיות למניעת זיהום חלקיקים בתעשייה.
4. הדיווח יסייע לציבור שרגישותו לזיהום האוויר גדולה (קשישים וחולים), בכך שיזהיר מפני כניסה לאזורים שבהם רמת זיהום האוויר גבוהה. באמצעות המידע, ניתן ליזום מאבק ציבורי שתכליתו ללחוץ על הרשויות לנקוט פעולות לשיפור איכות האוויר.

## פרק 6

# השפעת האזם על האקלים

# ועל האטמוספירה העולמית

### רעיונות מרכזיים

- אפקט החממה הוא תופעה טבעית הגורמת להתחממות האטמוספירה. קרני האור המגיעות מהשמש, עוברות כמעט ללא הפרעה את האטמוספירה ומחממות את פני כדור הארץ. לעומת זאת, הפליטה של הקרינה האינפרא-אדומה (הנוצרת בפני כדור הארץ) אל החלל, נמנעת באופן חלקי על ידי גזי חממה (בעיקר מים ופחמן דו-חמצני). עקב כך האטמוספירה מתחממת. אלמלא אפקט החממה הייתה הטמפרטורה של כדור הארץ נמוכה מדי עבור רוב צורות החיים והן לא היו יכולות להתקיים בתנאים אלו.
- מאז המהפכה התעשייתית, עולה בהתמדה כמות הפחמן הדו-חמצני באוויר... משום כך סבורים רוב המדענים שהטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ עולה ושהיא תמשיך לעלות בקצב הולך וגובר. התחממות כדור הארץ עלולה בין השאר לגרום לעליית פני הימים והאוקיינוסים, לשינוי האקלים ולהתרחשות תכופה יותר של אירועי מזג אוויר קיצוניים.
- פתרונות לבעיית ההתחממות כוללים: צמצום הפליטה של גזי החממה, שמירה על המשך קיום של היערות הקולטים את הפחמן דו-חמצני והיערכות להשלכות של עולם חם יותר. יישום הפתרונות מחייב שיתוף פעולה בין כל מדינות העולם. שיתוף פעולה זה נתקל בקשיים שונים בגלל אינטרסים שונים של מדינות מפותחות ומדינות מתפתחות.
- פעילות האדם משפיעה גם על האקלים המקומי. תופעה בולטת בתחום זה הוא איי החום העירוניים – טמפרטורת האוויר בערים גבוהה מזו שבסביבותיהן.
- ברום האטמוספירה, בסטרטוספירה, בגובה שבין 20 ל-40 ק"מ, קיים ריכוז גבוה יחסית של אוזון. האוזון בולע חלק ניכר מהקרינה האולטרה-סגולה המגיעה מהשמש וכך הוא מגן על יצורים חיים מפני נזקיה. באופן טבעי מתקיימים בסטרטוספירה תהליכי פירוק ויצירה של

אוזון אולם מאחר וקצב הפירוק וקצב היצירה של האוזון שווים נשמר בסטרטוספירה ריכוז קבוע של אוזון.

- חומרים שונים בשימוש האדם שנפלטים לאוויר, כגון חומרים מקבוצת ה-CFC, גורמים לפירוק מוגבר של אוזון ולירידת ריכוזו בסטרטוספירה, בעיקר בקוטב הדרומי. ירידה בריכוז האוזון מגדילה את כמות הקרינה האולטרה-סגולה שמגיעה לכדור הארץ, ועקב כך גוברת שכיחותן של מחלות מסוימות בקרב האדם. מסיבה זאת, גם קיימת כפי הנראה פגיעה בתהליך הפוטוסינתזה של אצות באוקיאנוסים.
- מדינות העולם מתמודדות עם הידלדלות האוזון באמצעות אמנות בינלאומיות, שבמסגרתן התחייבו מרבית מדינות העולם להפסיק או לצמצם את השימוש בחומרים הגורמים לפגיעה באוזון.
- משקעים חומציים הם מזהמים שניוניים, והם נוצרים מהתגובה הכימית בין טיפות העננים לבין מזהמים ראשוניים - תחמוצות גופרית ותחמוצות חנקן.
- משקעים חומציים פוגעים בעיקר במערכות אקולוגיות ובמבנים.
- משקעים חומציים יורדים לא פעם הרחק ממקום היווצרותם של המזהמים הראשוניים הגורמים להם.

### מושגים מרכזיים (מושגים עיקריים באות גדולה ואחרים באות קטנה נטויה)

אפקט החממה  
 קרינה אלקטרומגנטית  
 קרינה אינפורה-אדומה (IR)  
 קרינה אולטרה-סגולה (UV)  
 בליעה  
 החזרה  
 גזי חממה  
 אי-חום עירוני  
 אוזון  
 סטרטוספירה  
 פראונים (קלורו-פלורו-קרבונים)  
 משקעים חומציים

### הערות דיזקטיות

- בפרק זה שלושה חלקים שאינם תלויים זה בזה ואין צורך ללמדם לפי הסדר.
- כדי להבין כהלכה את נושא אפקט החממה חשוב מאוד שהתלמידים יכירו את נושא הקרינה בעמ' 200 בספר לתלמיד.

- השפעת האדם על אפקט החממה הוא אחד הנושאים המובהקים שבהם מתבטא הקונפליקט בין מדינות מפותחות למתפתחות והניגוד שבין פיתוח לשמירה על הסביבה. מומלץ לערוך משחק הדמיה שבו ייצגו התלמידים מדינות שונות בכנס בינלאומי בנושא התגברות אפקט החממה (כדוגמת הכנס בקיוטו ב-1997). פעילות זו תשקף לתלמידים את הבדלי האינטרסים שבין מדינות העולם.

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 212 למעלה

- 2 א. מגמה זו היא פועל יוצא של הגידול בצריכת האנרגיה בישראל. גידול זה מקורו בעלייה ברמת החיים ובגידול האוכלוסייה.
- ב.  $CO_2$  מקורו בשרפת דלקים להפקת אנרגיה,  $CH_4$  מקורו במשק החי בחקלאות ובפירוק של פסולת במטמנות. NO נוצר בתהליך השרפה כתוצאה מדאקציה כימית בין החמצן והחנקן באוויר.
- ג. הכוונה היא לגזים הנוצרים ישירות במהלך הייצור ולא כתוצאה מתהליכי הפקת האנרגיה הנחוצה לייצור.

### שאלות בעמ' 212 למטה

2. הטמפרטורה על פני נוגה גבוהה מאוד משתי סיבות: נוגה קרוב יותר לשמש; בנוגה אפקט החממה חזק בשל ריכוז גבוה של הפחמן הדו-חמצני העוטף אותה...
3. קשה לדעת האם אירועי מגז אוויר או תנודות אקלימיות רב-שנתיות הם תוצאה של מהלכים טבעיים או שמדובר בשינוי הנגרם מהתגברות אפקט החממה.
- 4.

עלייה בכמות גזי החממה	ירידה בכמות גזי החממה
שרפת דלקים	(פוטוסינתזה) שמירה על היערות נטיעת עצים
שרפת פסולת	מחזור פסולת
הטמנת פסולת	ניצול גז מתאן מאתרי פסולת להפקת אנרגיה
שימוש בגזי CFC	שימוש בגזים חלופיים ל-CFC
גידול בעלי חיים במשק חקלאי	אמנות בינלאומיות בדבר מכסות פליטה של פחמן דו-חמצני



7. מדינות השוכנות לחופי ימים ואוקיינוסים עלולות לסבול מעליית פני הים (למשל הולנד ומצרים), מדינות שיש בהם סערות הוריקנים עשויות לסבול מהגברת עצמתם (למשל מדינות האיים הקריביים ובנגלדש), מדינות שיושבות על גבול המדבר עשויות לסבול מבצורת (למשל אתיופיה). מדינות מתפתחות ייפגעו יותר ממדינות מפותחות מכיוון שיש להן פחות אמצעים להשקיע בתיקון הנזקים ובמניעתם.
10. הביומסה הצמחית המצויה ביערות הטרופיים, גדולה יותר בהשוואה לשטחי יער באזורים אחרים בעולם. ביערות אלו, בשל האור והחום, התהליכים הביולוגיים מהירים יותר, ובעקבות כך גם קיבוע הפחמן בתהליך הפוטוסינתזה גדול יותר בהשוואה ליערות אחרים בעולם.
11. א. יש להניח שבעוד 25 שנה תעלה רמת החיים במדינות המתפתחות, ולכן פליטת הפחמן הדו-חמצני לנפש תגדל. בעקבות כך יצטמצם הפער בפליטת הפחמן הדו-חמצני בינן לבין המדינות המפותחות. מבחינת כמויות הפליטה המוחלטות של פחמן דו-חמצני, צמצום הפערים יהיה גדול יותר, בגלל הגידול הניכר באוכלוסייה של מדינות אלו. יש להניח כי מדינות כגון הודו וסין עשויות לעבור למקום השני והשלישי אחרי ארה"ב בפער קטן מאוד.

### שאלות בעמ' 215

1. כדי להפחית את אי-החום העירוני יש לשתול צמחייה בין הבתים ולהגדיל את שטחן של הגינות הציבוריות. בדרך זו אנרגיית השמש תנוצל לאידוי מים מהצמחים ולא תיבלע בקרקע ותיפלט שוב לאוויר כחום. צעדים נוספים: תכנון של הבניינים והרחובות באופן שיאפשר מעבר רוחות שיסיעו את האוויר החם ממקום היווצרותו; בנייה בחומרים בהירים שמחזירים חלק מהקרינה ואינם הופכים אותה לאנרגיית חום.

### שאלות בעמ' 221

2. א. ניתן להניח כי עיקר הפליטה הוא במדינות המפותחות. עם החלתה של אמנת מונטריאול, צומצמה מאד פליטת הפראונים.
- ב. הפראונים שנפלטים לאוויר הם תרכובות יציבות שמתפזרות עם זרמי האוויר באטמוספירה ומגיעים גם לקוטב הדרומי. מעל הקוטב הדרומי שוררים בחורף תנאים מיוחדים, המאפשרים יצירת מאגר גדול של מולקולות  $Cl_2$ . באביב מתפרקות מולקולות ה- $Cl_2$  לאטומי כלור (Cl) הגורמים לפירוק האוזון.

### פעילות באינטרנט בעמ' 221

זוהי פעילות חקר. התלמידים אוספים נתונים ומגלים בעצמם את השינויים השנתיים בריכוזי האוזון. אפשר לבצע זאת כפעילות-קדם, לפני הוראת הנושא. ניתן למקד את איסוף הנתונים בישראל, ואפשר לאסוף נתונים מכמה וכמה שנים, ובדרך זאת תהפוך הפעילות למשימת חקר מורחבת, כחלק ממשימות של הערכה החלופית.

### הערות לשאלות:

1. א. בדרך כלל רואים ברור את השתנות שיעור האוזון בקוטב הדרומי. בישראל, השינויים במהלך השנה קטנים בהרבה בהשוואה לקטבים.
- ב. בקוטב הדרומי ניתן מבחינים בקלות במגמות השינוי במהלך השנה. לאיתור מגמות קבועות בחלקים אחרים של העולם, יש לעקוב אחר נתונים של מספר שנים.

### **שאלות בעמ' 224**

2. גשם חומצי הוא מזהם שניוני. החומרים הגורמים להיווצרותו עשויים לנדוד מרחק רב באטמוספירה עד שיגיעו לאזור שבו הם יוצרים את הגשם החומצי. לפיכך, במקרים רבים נזקי הגשם החומצי אינם במדינה שבה נפלטו החומרים שיוצרים את הגשם החומצי, אלא במדינות אחרות.

חומרים בסיסיים

פסק



## פרק 7

# חומרים כמשאב לאדם

### רעיונות מרכזיים

- באמצעות הטכנולוגיה, האדם מנצל חומרי גלם שמקורם בסביבה הטבעית כדי לייצר מוצרים ובכך לשפר את איכות חייו.
- בכל שלבי החיים של המוצר - הפקת חומר הגלם, ייצור המוצר, השימוש בו - ובעת שהוא מסיים את "חיי", נוצרים חומרי פסולת. רוב הפסולת מגיעה בחזרה לסביבה הטבעית, וחלק מהפסולת ניתן לנצל שוב כחומר גלם למוצרים חדשים.
- כמות הפסולת שנוצרת בחברה מסוימת תלויה בגודל האוכלוסייה וברמת החיים. ככל ששיעורם גבוה, יגדל שיעור הייצור וצריכת המוצרים ועמם תגדל כמות הפסולת.

### מושגים מרכזיים

- מחזור חומרים
- משאבים מתכלים
- משאבים מתחדשים

### הערות דיזקטיות

- הפסולת הוא אחד מנושאי תכנית הלימודים. הפסולת היא תוצאה של השימוש שעושה האדם בחומרי גלם שהם משאב. מטרתו של פרק זה היא להציג את החומרים כמשאב. הפרקים הבאים 8 ו-9 עוסקים בהרחבה בבעיית הפסולת ובדרכי ההתמודדות עמה. יש להדגיש את הקשר בין בעיית הפסולת וניצול משאב החומרים.

### תשובות לשאלות נבחרות

#### שאלות בעמ' 232

3. היבטים משותפים: בשתי המערכות, חומר עובר מגורם לגורם במערכת. במערכת אקולוגית, חומרים עוברים מהסביבה האביוטיית ליצורים החיים לצורך קיומם, בגופם של היצורים עוברים החומרים שינויים. במערכת טכנולוגית, חומרים מהסביבה עוברים למפעלים והופכים למוצרים, כלומר החומרים עוברים שינויים במפעלים. כל היצורים החיים פולטים לסביבה חומרי פסולת במהלך חייהם, וכך קורה גם בתהליכי ייצור המוצרים ולעתים גם

- בתהליך השימוש בהם (למשל בעת השימוש במכונית). יצורים מתים ומוצרים מתבלים, אינם משמשים עוד והופכים לפסולת.
- ההבדל הגדול בין מערכת אקולוגית למערכת טכנולוגית הוא במה שקורה לחומרים לאחר ה"מוות" (של יצור או של המוצר). לאחר מותו של יצור, מתקיים מחזור מלא של החומרים שהרכיבו אותו והם הופכים מחדש לזמינים ליצורים חיים אחרים. במערכת טכנולוגית, למעט אם מבצעים פעולות מחזור, החומרים חוזרים לסביבה, ובמקרים רבים אינם זמינים עוד לשמש חומר גלם למוצרים חדשים. כך, בשונה ממערכת אקולוגית, כמות החומרים הזמינים לשימוש במערכת טכנולוגית הולכת וקטנה (זוהי התכלות של משאבים). לדוגמה: אם משליכים למטמנה מוצרים שמכילים מתכות, המתכות אינן מתכלות אבל הן מצויות במטמנה בריכוז מאוד נמוך בהשוואה לריכוז בסלעים שמהם הופקו לראשונה, ולמעשה אין דרך להשתמש מחדש במתכות אלו לאחר שנטמנו בעומק ערמות הפסולת.
5. א. היחס הוא 1 ל-10. למכונית מסה של 1 טון בהשוואה ל-10 טון פסולת שנוצרים במהלך "חייה" ו"מותה".
- ב. חלק גדול ממסתה של המכונית הן מתכות. כרייתן יוצרת כמויות גדולות מאוד של פסולת (ריכוז המתכות בבצר הוא בדרך כלל 10%-30%, והשאר פסולת). במפעלים המייצרים את המכונית נוצרת פסולת. פסולת נוצרת גם בעת הפקת הדלק למכונית ובעת השימוש בה. לאחר שהמכונית סיימה את "חייה", היא עצמה הופכת לפסולת.
6. א. משאבים מתכלים.
- ב. על מנת לתת הערכות אלו יש לסכם את עתודות המחצבים בעולם, שהפקתם כדאית מבחינה כלכלית. במקביל יש לבדוק את הצריכה השנתית של משאבים אלו ולהעריך את הגידול הצפוי בצריכה בעקבות הגידול באוכלוסיית העולם והעלייה הצפויה ברמת החיים.
- ג. כן בהחלט הערכים בטבלה עשויים להשתנות. ייתכן שיימצאו מאגרים נוספים של משאבים שאינם ידועים היום וכך יתארך משך הזמן עד התכלות המשאבים. במקביל עשויה גם צריכת המשאבים להשתנות בעקבות פיתוחים טכנולוגיים, ובהתאם לכך יתארך או יתקצר משך זמינותם. ייתכן, לדוגמה, שמשאב מסוים שכיום נצרך ברמה מסוימת, יהפוך למבוקש יותר עקב פיתוח טכנולוגי חדש. לעומת זאת, ייתכן שבעקבות פיתוח טכנולוגי, יקטן השימוש במשאב אחר. (למשל, בשנים האחרונות הפסיקו להוסיף עופרת לדלק, וצריכת העופרת קטנה).
7. משאב הופך למתכלה ברגע שאין אפשרות מעשית וכלכלית להפיק אותו. אמנם כאשר זורקים מוצר, שמכיל לדוגמה מתכות, המתכות ממשיכות להתקיים במטמנה, אבל ריכוזן במקום נמוך מאוד ולא כדאי כלכלית ומעשית להשתמש במתכות אלו. במקרים אחרים (נפט גולמי, לדוגמה), המשאב הופך לחומר אחר במהלך השימוש. במקרה זה המשאב המסוים התכלה. החומרים שנוצרו ממנו אינם נחשבים למשאבים.

**שאלות בעמ' 236**

2. התרשים מתאר עלייה בצריכת משאבים לאורך השנים. ניתן להסביר עלייה זו בעלייה ברמת החיים ובגידול האוכלוסייה. השנים שבהם קיימת ירידה זמנית בצריכת המשאבים, הן שנים של משברים בכלכלה, שבהן יש בידי הציבור פחות משאבים כספיים. עקב כך קטנים הביקושים, ייצור המוצרים מצטמצם וקטנה צריכת המשאבים.
6. א. מהתרשים עולה שהגידול הצפוי בפסולת הוא מעריכי. הפסולת הנוצרת מצריכה טיפול ויוצרת מפגעים (גם אם היא מטופלת כהלכה). ככל שנוצרת יותר פסולת, נוצרים יותר מפגעים. השלכות סביבתיות עיקריות של ייצור פסולת הם אלה: זיהום מקורות המים, פליטת גזי חממה, היווצרות גזים דליקים ונפיצים, פגיעה בנוף ובערך הקרקע והיות המזבלה בית גידול לבעלי חיים מזיקים. שינוע הפסולת למקום ההטמנה גורם לזיהום אוויר.
- ב. יש חשיבות למסה ולנפח המצטברים מכיוון שהפסולת מפונה למטמנות, אלו מתמלאות במשך הזמן וצריך למצוא מקומות הטמנה חדשים שמכלים שטחי קרקע ויוצרים מפגעים סביבתיים.

## פרק 8 העניין הפסולת

### רעיונות מרכזיים

- פסולת נוצרת במהלכה של כל פעילות אנושית. רוב הפסולת מוגדרת כפסולת עירונית והיא זו המטופלת על ידי המערך הרגיל של איסוף האשפה על ידי הרשויות המקומיות. סוגי הפסולת האחרים הם ייחודיים וכוללים בין השאר פסולת בניין, פסולת חקלאית, פסולת רפואית ועוד.
- סוגים רבים של פסולת מכילים חומרים שהמגע עמם מסוכן לאדם וליצורים אחרים בסביבה.
- חומרים אורגניים טבעיים בפסולת עוברים תהליך של פירוק ביולוגי על ידי מפרקים.
- יש חומרים אורגניים סינתטיים בפסולת שאינם מתפרקים בתהליך של פירוק ביולוגי או שתהליך הפירוק הביולוגי שלהם אטי מאוד.
- חומרים אנאורגניים עוברים תהליכי פירוק כימיים. תהליכים אלו נמשכים לרוב זמן רב מאוד.
- מזבלות גורמות למפגעים סביבתיים שונים כגון: זיהום מקורות המים, פליטת גזי חממה, היווצרות גזים דליקים ונפיצים, פגיעה בנוף ובערך הקרקע והיות המזבלה בית גידול ליצורים מזיקים וגורמי מחלות.

### מושגים מרכזיים

- פסולת ביתית
- פסולת עירונית
- פסולת חקלאית
- פסולת מסוכנת
- חומרים סינטטיים
- מזבלה
- פירוק ביולוגי



## הערות זידקטיות

- בחלקו הראשון של הפרק מוצגים נתונים שונים על הפסולת בישראל. ניתן להתחיל את לימוד הפרק הזה על ידי הצגת תרשימים אלו לתלמידים והעלאת השאלה מה משמעותם של הנתונים האלו.

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 243

6. א. גזם הוא חומר אורגני, כאשר מוסיפים אותו לקרקע הוא מתפרק והמינרלים הנוצרים מעלים את פוריות הקרקע.
- ב. פסולת גזם לא מקוצצת תופסת נפח רב וגורמת למילוי מהיר יותר של אתר הפסולת.
7. א. הפסולת האורגנית תופסת נפח קטן יחסית למסה שלה, לעומת פסולת קרטון אריזות שתופסת נפח גדול ביחס למסה.
- ב. פסולת אורגנית מפורקת בתהליכי פירוק טבעיים, ולכן עם הזמן קטן נפחה. כמו כן פסולת שמפורקת בתהליכים ביולוגיים היא לרוב לא רעילה. לעומת זאת פסולת שאינה פריקה בתהליכים ביולוגיים תופסת נפח במטמנה לאורך זמן, ובמקרים רבים גם מכילה חומרים מסוכנים.
8. באיור 8.2 ניתן לראות שעם הזמן גדל היחס בין נפח הפסולת למסתה. תהליך זה הוא פועל יוצא של העלייה ברמת החיים. ככל שזו עולה, עולה חלקם של מרכיבי פסולת שמקורם אינו במזון, אלא באריזות ובמוצרי צריכה שונים. במרכיבים אלו, היחס בין הנפח למסה הוא לרוב גדול יותר.
- 8.3 ניתן לראות כי התהליך שתארנו אכן נכון ומתקיים בפועל. ככל שעוברות השנים, שיעור הפסולת האורגנית קטן ושיעור מרכיבי הפסולת האחרים גדל.

### שאלות בעמ' 246 למעלה

1. פלסטיק הוא חומר סינטטי שאינו מצוי בטבע, ולכן לא התפתחו יצורים שניזונים מחומר זה. הפלסטיק מתפרק בתהליכים כימיים ופיזיקליים שהם אטיים מאוד.
2. פלסטיק פריק מסוג זה מתאים למוצרים לשימוש חד-פעמי, כגון שקיות וכלים חד-פעמיים. פלסטיק זה אינו מתאים למוצרים שצריכים להתקיים לאורך זמן כשהם חשופים לאור, כגון צעצועים וכלי אוכל שאינם חד-פעמיים.
3. הפוליאטילן הוא חומר סינטטי שאינו משמש חומר מזון למפרקים. בעת התפרקותו באמצעות האור, נוצרות מולקולות אתילן, שהן חומר אורגני המצוי בטבע ומשמש מזון למפרקים.

**שאלות בעמ' 246 למטה**

1. א. החולצה עשויה מחומר אורגני, ולכן היא תפורק על ידי מפרקים בתוך כמה שנים.  
ב. שלדת המכונית עשויה מתכת, ולכן היא תחליד ותתפורר בתהליך שיארך יותר ממאה שנים.  
ג. הקליפות תפורקנה בתוך שבועות ספורים על ידי מפרקים.  
ד. הבקבוק עשוי מחומר סינטטי שאינו עובר פירוק ביולוגי.  
ה. העיתון עשוי מנייר (חומר אורגני) שיפורק על ידי מפרקים.
2. מהמהיר לאטי ביותר –  
א. קליפת תפוח  
ב. עיתון  
ג. חולצה  
ד. שלדת מכונית  
ה. בקבוק פלסטיק
3. ניתן לעשות זאת על ידי ייצור המוצרים מחומרים שמתפרקים בתנאים השוררים בערמת הפסולת. כמו כן רצוי להעדיף ייצור מחומרים אורגניים על פני חומרים סינתטיים.

**שאלות בעמ' 249**

2. באתר הפסולת יש לדאוג לכיסוי ערמות הפסולת בעפר.
3. באתרי פסולת שנעזבו, ממשיך להיווצר גז מתאן שיכול לגרום לפיצוץ. אם לא מתבצעות באתרים אלה פעולות של איסוף הגז, פעילות אדם בקרבתם עלולה להיות מסוכנת. אי-אפשר לבנות על ערמת הפסולת מכיוון שחומרי הפסולת באתר ממשיכים להתפרק באטיות ולכן הקרקע שוקעת.

# פרק 9

## התאוצות עם עייית הפסולת

### רעיונות מרכזיים

- יש חמש שיטות טיפול עיקריות בבעיית הפסולת:
  - הפחתה במקור – מניעה מראש של היווצרות פסולת בדרכים הבאות:
    - נקיטת צעדים שונים בתהליכי ייצור אשר מפחיתים את היווצרות הפסולת במהלך חיי המוצר.
    - הגברת מודעותו של הציבור להרגלי צריכה המפחיתים שימוש במוצרים.
  - שימוש חוזר במוצרים – איסוף המוצר שהפך לפסולת וטיפול בו כך שיוכל לשמש פעם נוספת.
  - מחזור – הפרדה של חומרים מהפסולת ושימוש חוזר בהם כחומר גלם למוצרים חדשים.
  - הפקת אנרגיה מפסולת – הפקת אנרגיה חשמלית באמצעות שרפת פסולת, או שרפת גז מתאן הנוצר בתהליכי פירוק הפסולת.
  - הטמנה – העברת הפסולת לאתרי קבורה מסודרים שבהם ננקטות פעולות למניעת מפגעים סביבתיים שהפסולת יוצרת.
- בחירת שיטת הטיפול המתאימה בפסולת מחייבת תחילה בחינתה בהשוואה לחלופות אחרות. ההשוואה תביא בחשבון את העלויות הכספיות הישירות של כל שיטת טיפול ואת העלויות החברתיות (העלויות החיצוניות) שנגרמות בכל שיטה.
- הגישה הננקטת כיום על ידי הרשויות הסביבתיות היא טיפול משולב, שבו בוחרים בחלופה המתאימה ביותר לטיפול בכל אחד ממרכיבי הפסולת.

### מושגים מרכזיים (מושגים עיקריים באות גדולה ואחרים באות קטנה נטויה)

שימוש חוזר

מחזור

קומפוסט

הטמנה

מטמנה

אפר עילי

אפר תחת

NIMBY

עלויות חברתיות (עלויות חיצוניות)  
טיפול משולב

## הערות דיקטיות

- תכנית הלימודים מתמקדת בעיקר בפסולת העירונית, ולכן נושא זה מובא בהרחבה רבה בהשוואה לסוגי פסולת אחרים.
- בתחילת הפרק מוצגות 5 שיטות לטיפול בפסולת. לאחר שהתלמידים התוודעו לנושא, מוצגת הדילמה: מהי שיטת הטיפול הרצויה בפסולת. על מנת להבין כהלכה נושא זה, חשוב שהתלמידים יכירו היטב את המושג "עלויות חברתיות". לשם כך הוספנו קטע מידע קצר (להרחבה ראו בספר **אדם וטביבה** בהוצאת מעלות).

## תשובות לשאלות נבחרות

### שאלות בעמ' 259

6. הטמפרטורה הגבוהה היא תוצאת פעילותם של המפרקים, וככל שאוכלוסייתם גדולה יותר הטמפרטורה גבוהה יותר. בתחילת התהליך, המזון רב והאוכלוסייה מתחילה לגדול. לאחר שרוב המזון נוצל, מספר המפרקים קטן ובעקבות כך גם חלה ירידה בטמפרטורה.
7. פירוק החומר האורגני נעשה על ידי מפרקים, אלו מנצלים את החומרים לתהליכי החיים שבמהלכם נוצרים מים, פחמן דו-חמצני ומתאן שנפלטים מערמת הקומפוסט.
8. שטח הפנים של גזם או של נסורת גדול יותר משטח הפנים של ענפים שלמים. לכן המפרקים יכולים לנצל נסורת באופן יעיל ומהיר יותר.
10. - החורים בצדי המכל נועדו לאפשר כניסת אוויר, ובחלק התחתון לאפשר מגע עם האדמה. מגע זה נחוץ על מנת שיצורים המשתתפים ביצירת הקומפוסט יוכלו לעבור מהקרקע אל המכל.
- החומר הגס והיבש מכיל חללים רבים וגדולים יותר מאשר שאר החומרים המשמשים להכנת הקומפוסט. לכן המים המתנקזים מהערמה והאוויר שצריך להגיע אליה עוברים דרכם בקלות רבה יותר.
- שכוב לסירוגין של שאריות אורגניות ושל חומר יבש מאפשר ניקוז ואוורור של הערמה. כמו כן הוא מאפשר מגע בין המפרקים שבפסולת לבין החומר היבש, שהוא מקור עשיר יותר לפחמן מאשר הפסולת.
- בשר מכיל חומר אורגני מרוכז מאוד ולכן במהלך פירוקו ייווצרו תנאים אנאירוביים שבהם יפעלו מפרקים אנאירוביים שתוצרי נשימתם הם גזים המדיפים ריחות רעים.
- המכסה נועד לשמור על הלחות בערמה, ולחות זו מספקת למפרקים את המים שלהם הם זקוקים. ההשקיה נועדה להחזיר לערמה מים שהתאיידו או נצרכו. ערבוב הערמה נועד להבטיח כי כל מרכיביה ייחשפו זה לזה, וכך יתאפשר תהליך הקומפוסטציה. ייבוש

הערמה במקרה של ריחות רעים נועד לבטל את התנאים האנאירוביים ועל ידי כך למנוע את פעולת החיידקים היוצרים ריחות אלו.

### שאלות בעמ' 265

4. דלקים מיוצרים באופן שבו שרפתם תהיה שלמה ככל האפשר; ככל שהשרפה שלמה יותר מופקת מהדלק אנרגיה רבה יותר. לעומת הדלקים, הפסולת היא אוסף של חומרים רבים ושונים שנוצרו למטרות שונות. חומרים רבים בפסולת אינם נשרפים היטב ומשום כך נוצרים מזהמים רבים שהם למעשה חומרים שלא עברו שרפה שלמה.
5. בארצות מתפתחות, חלק גדול מהפסולת הוא שאריות מזון שיש בהם לחות רבה המורידה את ערך ההיסק. לעומת זאת, בארצות מפותחות גדל חלקה של הפסולת שמקורה באריזות ובמוצרים שאינם פסולת מזון. פסולת זו היא יבשה, ובמקרים רבים היא עשויה מחומרים אורגניים בעלי ערך היסק גבוה.

### שאלות בעמ' 272 למעלה

1. א. יש חומרים שניתן למחזר, אך עלויות המחזור שלהם גבוהות מעלויות השימוש בחומרי הגלם הראשוניים. כאשר ממחזרים חומרים שאין כדאיות כלכלית למחזרם, הרשויות המטפלות בפסולת מממנות את הפרש העלויות וכך עולה העלות הכוללת של הטיפול בפסולת. המימון נופל בסופו של דבר על האזרחים שמממנים את הטיפול בפסולת באמצעות המסים.
- ב. טיפול בפסולת רק באמצעות הטמנה עלול להיות יקר מכיוון שייתכנו בפסולת מרכיבים שמחזורם כדאי מבחינה כלכלית ואי-ניצול אפשרות זו גורם לאבדן של הכנסות. במקרה כזה, הציבור משלם לשווא את העלויות החברתיות הכרוכות בהטמנת הפסולת שניתן היה למחזר.
- ג. על הקו המתאר את סה"כ העלויות לטיפול בפסולת, עלינו למצוא את הנקודה הנמוכה ביותר. שיעור המחזור ושיעור ההטמנה שמרכיבים עלות זו הם השיעורים הרצויים לחלוקת הטיפול בפסולת בין מחזור והטמנה.

### שאלות בעמ' 272 למטה

2. עלויות המחזור שונות מחומר לחומר. כדאי למחזר חומר מסוים אם עלות המחזור נמוכה מעלות ההטמנה של חומר זה. כאשר מעלים את מחיר ההטמנה, עלות מחזורם של חומרים רבים נעשית נמוכה יותר מעלות הטמנתם.
3. לעלויות הטיפול בכל אחת מהשיטות נוספת גם עלות שינוע הפסולת למקום הטיפול. ככל שהמרחק גדול יותר, גדלה עלותו של מרכיב השינוע. כאשר כל אפשרויות הטיפול בפסולת נמצאות במרחק זהה ממקום היווצרות הפסולת, תיתכן עדיפות לשיטה מסוימת (למשל מחזור), אולם אם מפעל המחזור יהיה רחוק יותר יתווספו עלויות ההובלה לעלויות המחזור,

עד אשר במרחק מסוים ממקום היווצרות הפסולת, יהיה המחזור יקר יותר מהשיטות האחרות ויפסיק להיות כדאי.

4. ג. בכל מקום שבו ינסו הרשויות למקם אתר פסולת צפויה התנגדות של הציבור הגר בסמיכות למקום, ויש להניח אפוא שמהלך קבלת ההחלטה ילווה בלחץ ציבורי על מקבלי ההחלטה. במצב כזה, תיתכן החלטה שהיא בעיקר תוצאה של לחץ ציבורי ולא דווקא של שיקולים ענייניים.  
 ד. מקבלי ההחלטות חייבים להתחשב במי שעלולים להיפגע מאתר פסולת שיימצא בקרבת מגוריהם. עליהם לשתף את הציבור ולתת מענה הולם לבעיות הצפויות מהקמת אתר הפסולת.

### שאלות בעמ' 275

2. תמ"א 16 קובעת היכן יוקמו אתרי פסולת. מספר המקומות הוא קטן ובאתרים ננקטות הפעולות הנחוצות למניעת נזקים סביבתיים. בדרך זו נמנעים הפעלתם ונזקיהם של אתרי פסולת "פיראטיים". יישומו של תמ"א 16 העלה את מחיר הטמנת הפסולת ובעקבות כך הפכו שיטות טיפול אחרות, כגון מחזור לכדאיות יותר.
3. א. טחינת האשפה והזרמתה לרשת הביוב מקטינה את כמות הפסולת הביתית המועברת לטיפול במערך טיפול הפסולת. מצד שני היא מגדילה את העומס האורגני במי השפכים ומייקרת את הטיפול בשפכים.
- ב. בארץ קיים מחסור במים, ושימוש בטוחני אשפה יגדיל את צריכת המים. הגידול בכמות השפכים גם תחייב הרחבת המתקנים לטיהור שפכים, שבמקרים רבים כבר עובדים בתפוקה מלאה. הרחבה בגלל השימוש בטוחני אשפה אינה מוצדקת, כי פסולת מזון היא המרכיב הקל ביותר לפירוק באופן טבעי, וזול יותר לטפל בו על ידי הטמנה או יצירת קומפוסט.