

רות אמיר

# פרקים באקולוגיה

מהדורה שנייה מורחבת



האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים  
משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים  
מטה מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שלט

2007

תשס"ח



## פרקים באקולוגיה – מהדורה שנייה מורחבת (תשס"ח)

Basic Ecology – Second Edition (2007)



**כתיבה:** ד"ר רות אמיר

**שכתוב:** ד"ר רות אמיר ורחל נוסינוביץ

**ריכוז הפקה:** רחל נוסינוביץ

### יעוץ מדעי:

פרופ' חיים קיגל, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים

### יעוצים מדעיים נוספים:

פרופ' יאיר אחיטוב, הפקולטה למדעי החי, אוניברסיטת בר אילן (מהדורת עיצוב, פרק 1)

פרופ' תמר דיין, המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל אביב (פרק 1)

פרופ' צבי זקס, המכון למדעי החיים, האוניברסיטה העברית בירושלים (פרק 2)

פרופ' דב פור, אס"א, המכון למדעי החיים, האוניברסיטה העברית בירושלים (מהדורת עיצוב, פרק 1)

### עריכת לשון: דרורה ועדיה

**איורים, עיצוב והפקה:** סטודיו דן – יוליה אגרנוביץ', גדעון דן

**מביאה לבית הדפוס:** שושנה הראל

### מהדורה ראשונה:

**יעוץ מדעי:** פרופ' עמנואל נוי-מאיר, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה

העברית בירושלים

**יעוץ דידיקטי:** ד"ר נעה אבולעפיה, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך

## זרים של תודות

- לכל המורים, התלמידים והידידים שנענו ברצון לבקשותינו לתמונות ויצירותיהם מעטרות את דפי הספר ומאירות את הכתוב בו. (רשימה מפורטת של מקורות התמונות בעמוד ממול).
- לכל המורים שהערותיהם למהדורה הראשונה סייעו בהכנת מהדורה זו.
- לכל אלה שקראו והעירו:  
ד"ר נעה אבולעפיה, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך (כל הפרקים)  
ד"ר ברוריה אגרסט, ביה"ס לחינוך, אוניברסיטת בר אילן (מהדורת עיצוב, פרק 1)  
ישראל וייסנשטרן, מפמ"ר מדעי החיים והחקלאות, משרד החינוך (פרק 2)  
ד"ר נטע עורבי, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך (פרק 2)



יצא לאור במימון האגף לתכנון ולפיתוח תוכניות לימודים במשרד החינוך ומטה מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך תשס"ח, 2007

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, לתרגם או לאחסן במאגרי מידע, בכל דרך ובכל אמצעי אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה.

## מקורות התמונות

- אבולעפיה נעה ואלי: 36 (מפנה), 60, 62 (אורנים), 105, 111 (גמל שלמה), 155 (תות)
- אדר אילנה: כריכה, 113 (עפצים), 127 (תל גזר), 149
- אלבו-פרסלר ציפי: 44 (כלנית), 37 (חוף סלעי)
- אלקיים רבקה: 154 (חממות), 163 (לול, תרנגולות בחצר)
- אמיר רות ושמואל: 11, 13, 22 (פריחה), 36 (יער אלונים), 42 (סירה קוצנית), 44 (רקפת וסתונית), 47 (כלב ים ושקנאי), 51 (3 תמונות), 52, 53, 62 (הפצה), 70 (איור ע"פ צילום), 73, 114 (אפיפיטים וחזית), 117 (גדילנים בשדה), 118, 128 (קקטוס לבה), 133, 135 (דודו), 139 (יער גשם), 140 (צומח מדברי), 142, 147 (עין גדי), 154 (אספסת), 158 (פירות שאוקלמו בארץ), 163 (משמש)
- אמיר עירית: 34
- אמיר הימל רחל: 44 (חלמוניות)
- אמיתי פנחס: 113 (דבקון הזית), 114 (קוקיה)
- בן טוביה אדם: 135 (כלב ים)
- ברטוב אייל: 147 (שקנאים)
- ברנס אסף: 111 (כרוון)
- ברומר מירי: 50 (2 תמונות)
- ברנר גילה: 116 (חרק ומאביק), 155 (שוקת)
- גויכברג גליה: 77 (פטרויות), 81 (כינרת), 116 (פרי עסיסי)
- גולן איתמר: 56, 85
- גיש משה: 20 (זיקית)
- גילי דרור: 13 (עגורים)
- גליקשטיין דודי: 17 (גמל)
- דן גדעון: 161
- דן מיכאל: 62 (פרדסים)
- אבינעם דנין: 130
- דרום דוד: 35, 36 (צומח מדברי בנגב), 42 (ידיד החולות), 67, 112 (חקיין ומודל), 113 (הרנוג השיטים), דפני יעקב: 140 (שונית)
- וודלי ביל, רמת הנדיב: 145 (אייל הכרמל)
- טשר ניצה: 31
- יאיר יפעת: 23 (מקלן)
- כהן יוגב: 20 (תפרחת ומאביק), 77 (זחל), 97
- לוי ענת: 37 (עין גדי)
- לינק אפרת: 49, 69, 93 (פקעיות), 128 (חזיות על סלע)
- לם אורית: 113 (יחנוק)
- מושליון מנחם: 41, 42
- מזר איתי: 16 (סרטן)
- מיכאלי מיה: 19, 22 (ציטה), 45 (פיל), 70 (ילוסטון)
- נבו אביגיל: 59
- נוסינוביץ יצחק ורחל: 39 (2 תמונות), 43 (קקטוס), 71, 117 (גדילן), 121, 128 (אבני שביל), 144 (שמורת החולה), 155 (ממטרות), 163
- סולימני רחל: 81 (חלזון)
- עתידיה דיתה: 106 (כלניות)
- פיין מעוז: 47 (מדוזה)
- פינקלשטיין דקלה: 112 (דבורנית), 17 (מדבר)
- פרגמן-ספיר אורי (באדיבות הגן הבוטני האוניברסיטאי, ירושלים): 44, 135 (אירוס)
- קינן עודד: 27, 45 (פסמון), 75, 81 (שועל, נחש, גרביל), 102, 119, 136 (צבי)
- רודין יונתן: 61
- רוטשילד דפנה: 20 (קנוקנות), 125, 127 (יער)
- רול אורי, קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב: 145 (עיטם לבן זנב)
- רון סלעית, רמת הנדיב: 14
- שדלצקי אסתי: 93 (תורמוס), 77 (עובש על תפוז), 155 (חיפוי)
- שלה יהודית: 117 (קן נמלים מוקף גדילנים)
- שמש ירון: 16 (צבים)
- שניצר יהודית: 62 (פרי של מכנף), 77 (כבשים), 106
- מפת מסלולי הנדידה בעמוד 147 באדיבות "הציפורים הנוודות אינן יודעות גבולות"
- התמונות בעמוד 138 הן מתוך: הביולוגיה – חקר החיים, תש"ל, המרכז הישראלי להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים
- Fenlon, D. Michigan Technogy University, MI, USA: 117 (הנמלה החקלאית)
- Fijetland: 109 (חתול שלג)
- Geng Cécile: 151 (דוכן ירקות)
- Harrison Brad: 152
- IJsendoorn Poul: 63
- Mitenkov Max: 160
- Ozkan Emin: 151 (ביצים)
- Radzwan Shah: 23
- Sung Kuo-ming, Lawrence University, WI.: 144 (פנדה)
- USFWS: 109 (ארנבת שלג)
- asiaip: 22 (התאמת מבנה המקור)
- (ציפור מאכילה גוזלים) 23



## אל הקוראים

הספר "פרקים באקולוגיה" מפגיש אתכם עם נושא מדעי הנמצא במוקד ההתעניינות של הציבור הרחב.

בארצנו, למרות שהיא קטנה יחסית בשטחה, יש מגוון גדול של בתי גידול ואורגניזמים; אין צורך להרחיק לכת כדי לטייל בבית גידול מדברי, חוף ים סלעי או ראש הר מושלג ולהכירם. יותר מכל חשוב לדעת שהטבע שסביבנו הוא רגיש ופגיע. בארץ ובעולם מתעוררת בשנים האחרונות דאגה רבה מפני הנזקים שגורם האדם למערכות האקולוגיות ולאורגניזמים החיים בהם.

פרקי הספר הם בבחינת תשתית בלבד להבנת המערכות האקולוגיות ולהכרה בחשיבות השמירה על הטבע. להשלמת הידע עומדים לרשותכם מקורות מידע מגוונים כגון אתרים ברשת האינטרנט, פרסומים ועיתונים העוסקים במדע ובטבע סרטי טבע ותכניות טבע במדיה הטלוויזיונית.

פרקי הספר ערוכים באופן האמור להקל על ההתמצאות בנושאים השונים שבכל פרק ולהבחין בהרחבות ובקטעי ההעשרה – מעניין לדעת, חוקרים אקולוגיה ובעין חקלאית. קטעי "בעין חקלאית" מאירים את ההיבטים החקלאיים של התופעות האקולוגיות ואת ההשלכות של השיטות החקלאיות על הטבע. בנוסף לכך, פרק ז – יוחד כולו לחקלאות כהתערבות האדם בטבע. בשולי העמודים תמצאו קישורים לנושאי הליבה: גוף האדם והתא והפניות לנושאים בפרקי הספר.



בשכתוב ובעיצוב הספר סייעו רבות רחל נוסינוביץ והצוות המסור של סטודיו דן. כן רצינו לציין את תרומתם הרבה של מורים ותלמידים לביולוגיה שצילומיהם מעטרים את דפי הספר ופותחים בפניכם פתח לטבע הנפלא שסביבכם. לכולם שלוחה תודה!

אנחנו מקווים שלימוד האקולוגיה יעודד אתכם לצאת לטבע, לפקוח עיניים ולשמור על מה שראות עיניכם.



קריאה נעימה ולימוד מהנה!

## תוכן עניינים

### 29-11

### מבוא

- 14 א.1. ביולוגיה, אקולוגיה ומדעי הסביבה
- 15 א.2. אקולוגיה בסולם רמות הארגון
- 16 א.3. מאפיינים של בית גידול ושל מערכת אקולוגית
- 16 גורמים א־ביוטיים וגורמים ביוטיים
- 17 תנאים, משאבים וגורמים מגבילים
- 19 א.4. התאמה של אורגניזמים לסביבתם
- 19 מהות ההתאמה
- 21 תרומת ההתאמה להישרדות האורגניזמים
- 22 סוגים של התאמה
- 24 התאמה וברירה טבעית
- 24 עשים כהים ובהירים
- 27 התחמקות מתנאי סביבה לא נוחים
- 28 סיכום הפרק
- 29 מושגים חשובים

### 72-31

### גורמים א־ביוטיים והתאמות אליהם

- 33 ב.1. גורמים א־ביוטיים בסביבה והשפעתם על המערכות האקולוגיות
- 37 ב.2. מים: מרכיב בגופם של האורגניזמים וסביבת חיים
- 38 תכונות המים וחשיבותן לאורגניזמים
- 39 המים הם גורם מגביל בסביבה היבשתית
- 40 התאמות לחיים ביבשה
- 41 התאמות של צמחים לחיים בסביבה יבשה
- 45 התאמות של בעלי חיים לסביבה יבשה
- 46 התאמות לחיים בסביבה מימית
- 46 המים כסביבת חיים
- 47 התאמות של בעלי חיים לסביבה מימית
- 49 התאמות של צמחים לחיים במים
- 50 ב.3. אור: מקור אנרגיה לפוטוסינתזה ואות סביבתי
- 51 התאמות של צמחים לקליטה מרבית של אור
- 52 אור כסביבת חיים מימית
- 53 האור כאות סביבתי
- 54 ב.4. חמצן: נחוץ להפקת אנרגיה בתאים
- 55 חמצן כגורם מגביל בסביבת חיים מימית
- 56 התאמות לריכוז החמצן הנמוך בסביבה מימית
- 56 ב.5. פחמן דו חמצני: מגיב בפוטוסינתזה, תוצר נשימה וגז חממה

57	6.6. טמפרטורה: חיים מתאפשרים בטווח מוגבל של טמפרטורות
58	תהליכים באורגניזמים מושפעים מהטמפרטורה
59	ויסות טמפרטורה
59	עקרונות בוויסות טמפרטורה
61	התאמות לטמפרטורות קיצוניות
61	7.7. רוח: תנועה של האוויר
63	8.8. קרקע: מצע גידול, סביבת חיים ומשאב לחקלאי
63	מרכיבי הקרקע ותכונותיה
67	חומציות הקרקע ומליחותה
68	יחסי הגומלין בין הקרקע לבין האורגניזמים בבית הגידול
68	הקרקע כבית גידול
70	9.9. חיים בתנאי סביבה קיצוניים
71	סיכום הפרק
72	מושגים חשובים

## הגורמים הביולוגיים: ארגון ותהליכים



### בחברה

96-73

75	1.1. גורמים ביוטיים: פרטים, אוכלוסייה וחברה
75	2.2. המשאבים הנחוצים לגורמים הביולוגיים
76	מקורות האנרגיה והחומרים: דרכי הזנה
76	הזנה אוטורופית
77	הזנה הטרוטורופית
78	3.3. ארגון אוכלים ונאכלים בבית הגידול
78	יצרנים, צרכנים ומפרקים
79	שרשרת מזון, מארג מזון ופירמידות אקולוגיות
79	ייצוג איכותי: שרשרת מזון ומארג מזון
82	ייצוג כמותי: פירמידה אקולוגית של רמות הזנה
85	חשיבות דרכי התיאור והייצוג להכרת המערכת האקולוגית
86	4.4. תהליכים בבית הגידול: מחזורי החומרים והעברת האנרגיה
86	מחזור החומרים
87	מעברי אנרגיה בטבע
88	קרינת השמש – מקור אנרגיה ראשוני
89	הצמידות בין מחזור החומרים לבין העברת האנרגיה
91	דוגמאות של מחזורי חומרים
91	מחזור הפחמן
93	מעורבות האדם במחזורי חומרים
96	סיכום הפרק
96	מושגים חשובים

## 124-97

## יחסי גומלין בין אורגניזמים



- 99 1. יחסי גומלין בין פרטים באוכלוסייה  
תחרות בתוך האוכלוסייה
- 99 2. יחסי גומלין בין אוכלוסיות בחברה  
תחרות בין מינים (species)
- 102 אֶלֶּלּוּפְתִּיָּה: דוגמה של תחרות הפרעה בין מינים
- 105 תחרות בין מינים מנקודת מבט אבולוציונית
- 106 טריפה
- 107 המחזוריות בגודלן של אוכלוסיות טורף ונטרף
- 109 הימלטות מטריפה
- 111 חיי שיתוף (סימביוזה)
- 112 טפילות
- 113 קומנסליזם
- 114 הדדיות (מוטואליזם)
- 114 סיכום: מאפיינים של יחסי הגומלין
- 118 3. גורמים המשפיעים על גודל האוכלוסייה
- 119 4. מעורבות האדם ביחסי הגומלין בטבע
- 122 סיכום הפרק
- 123 מושגים חשובים
- 124

## 132-125

## שינויים ויציבות בבית הגידול



- 127 1. שינויים בבית הגידול
- 128 סוקצסיה
- 131 2. שיווי משקל דינמי של מערכת אקולוגית
- 132 סיכום הפרק
- 132 מושגים חשובים

## 148-133

## המגוון הביולוגי וחשיבותו



- 136 1. מהו מגוון ביולוגי?
- 138 2. גודלו של המגוון הביולוגי
- 139 3. מגוון ביולוגי והשתנותו
- 140 4. השפעת האדם על המגוון הביולוגי
- 142 5. חשיבותו של המגוון הביולוגי
- 142 מוצרים שמקורם במערכת האקולוגית
- 143 השירותים שמספקת המערכת האקולוגית
- 144 6. שמירה על המגוון הביולוגי

146	71. מגוון ביולוגי בישראל
146	מקורותיו של העושר הביולוגי בישראל
148	סיכום הפרק
148	מושגים חשובים

## 164-149

## החקלאות - מעורבות האדם בטבע



151	17. גידול האוכלוסייה ומזון
152	מלקט וציד להנדסה גנטית
153	27. לא רק מזון: מוצרים ושירותים של החקלאות
153	37. הטכנולוגיה בחקלאות והבסיס הביולוגי שלה
159	47. החקלאות והסביבה בראייה מערכתית
160	חקלאות בת־קיימא: מוצרים, שירותים וסביבה בריאה להיום וגם למחר
163	57. היבטים אתיים של הטכנולוגיה החקלאית
164	סיכום הפרק
164	מושגים חשובים

## 176-165

## נספח מושגי יסוד

167	1. על חומרים, תרכובות, יסודות ויונים
169	2. חומר אורגני
170	3. מזון
171	4. אנרגיה
172	סוגים של אנרגיה
172	אנרגיה קינטית
172	אנרגיה פוטנציאלית
173	המרת (גלגול) אנרגיה
173	חוקי הטבע הקשורים לאנרגיה
175	אנרגיה במערכת אקולוגית
176	מושגים חשובים

## 184-177

## מילון מונחים

## 192-185

## מפתח



א

מבוא



## מבט על הפרק

בפרק א הדגש הוא על חשיבות הנושא ועל הסיבות לעניין הרב בו. עם זאת, המטרה היא להציג את הנושא לא רק בהיבטיו הרלבנטיים והפופולריים אלא להדגיש את הצד המדעי: במה עוסק מדע האקולוגיה? מהן השאלות המובילות את המחקר האקולוגי? מהן ההשלכות של הידע על אפשרות פתרון של הבעיות הסביבתיות?

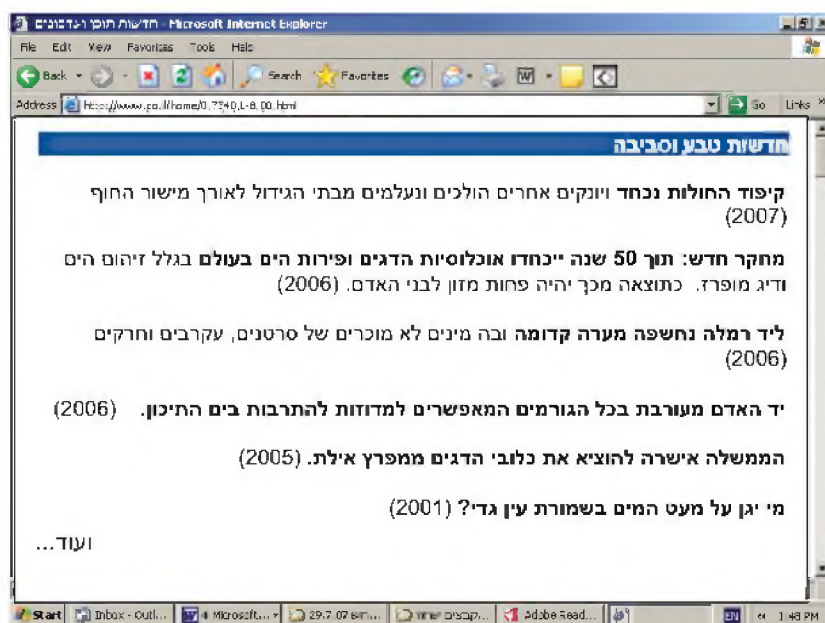
מטרה נוספת של הפרק היא להציג מבט על של הנושא ולפיכך מוצגים בו המאפיינים של רמות הארגון הכוללניות ביותר שבהן עוסקת האקולוגיה: **בית הגידול והמערכת האקולוגית**. ברוב הפרקים הבאים מוקד הדיון הוא ב**חברה** (ארגון, תהליכים, יחסי גומלין ועוד). הפרק כולל גם סעיף נרחב על התאמה. **התאמת אורגניזמים לסביבתם** הביוטית והא־ביוטית היא **רעיון מרכזי** בביוֹלוגיה והוא עובר כחוט השני לאורך פרקים רבים בספר.

## הערות שוליים למורה

הערות השוליים הן מסוגים שונים ונועדו לסייע בהוראה. המקום הצר בשוליים מחייב שההערה תהיה תמציתית. שמות הספרים בהערות השוליים הם מקוצרים. שם מלא ראו: בטבלה מ-6 עמוד מ-15. הערות השוליים מצביעות על:

- תפיסה שגויה
- ריבוי פנים של תופעות באקולוגיה
- הבהרות מסוגים שונים, רעיונות מרכזיים

ב־50 השנים האחרונות גובר העניין באקולוגיה וגוברת המודעות הציבורית לנושא. הדבר בא לידי ביטוי באמצעי התקשורת למיניהם. נשאלת השאלה: מה הביא להגברת העניין והחשיפה לנושאים האקולוגיים?



אקולוגיה בתקשורת

מהידעות בתקשורת אפשר לראות שהעניין באקולוגיה נובע בעיקר מההשלכות שיש **למעורבות האדם** בסביבה ומהסכנות לבריאותנו ולאיכות חיינו העלולות לנבוע מפעילויות שונות הפוגעות בסביבה. כדי להבין את ההשלכות ולחזות את תוצאותיהן חשוב להבין את המערכת האקולוגית שאנו מהווים חלק ממנה ותלויים בה לקיומנו. אולם אפשר להציע סיבות נוספות להתעניינות באקולוגיה ובטבע שסביבנו. האם שאלתם את עצמכם: מדוע אין עוד נמרים בארצנו? מה קורה ביער המתאושש משרפה? מה מביא המוני עגורים לעמק החולה? מדוע רבים מתנגדים לגידול דגים בכלובים במימי מפרץ אילת? מדוע כריתת יערות הגשם מעוררת דאגה?



עגורים בעמק החולה על רקע החרמון



יער גשם (אקוודור)

העניין בבעלי חיים ובצמחים בטבע הוא נחלתם של בני האדם מאז ומעולם. אולם התחום המדעי הנקרא **אקולוגיה** הוא "צעיר" בהשוואה לתחומים אחרים בביולוגיה העוסקים בחיי הצמח ובחיי בעלי החיים (לרבות האדם) כמו אנטומיה ופיזיולוגיה.



השם "אקולוגיה" הוצע על ידי המדען א. הקל (E. Haeckel) בשנת 1869, והוא נגזר מהמילה היוונית Oikos שפירושה "בית".

הגדרה של התחום "אקולוגיה" מבהירה במה עוסקים החוקרים ומה כלול בספר זה:

**אקולוגיה היא המדע העוסק ביחסי הגומלין הקובעים את השפע של האורגניזמים ואת תפוצתם.**

### מה אומרת לנו ההגדרה?

ההגדרה מצביעה על מוקד חשוב של מדע האקולוגיה – **יחסי הגומלין** בין האורגניזמים לבין סביבתם ובין האורגניזמים לבין אורגניזמים אחרים. מההגדרה נגזרות שלוש שאלות יסודיות של מדע האקולוגיה:

- כמה אורגניזמים יש במקום מסוים (השפע)?
  - היכן נמצאים האורגניזמים (התפוצה)?
  - מהם הגורמים המשפיעים על השפע ועל התפוצה של האורגניזמים?
- התשובות לשתי השאלות הראשונות הן תיאור כמותי ותתקבלנה מתצפיות שיטתיות בטבע. התשובות לשאלה השלישית נובעות ממחקרים בשדה ובמעבדה, ובפרקים הבאים יוצגו כמה מהתשובות שהעלו המחקרים לשאלה זו.



חוקרת בטבע: איסוף פרוקי רגליים ממלכודת

בשלוש השאלות הנגזרות מההגדרה יש רמז לדרכי החקירה. התשובות לשאלה השלישית מספקות את ההסבר לשפע ולתפוצה והן יכולות להתקבל מניסוי מבוקר. ההסברים לשפע ולתפוצה נובעים מתהליכים (טריפה, אכילה, פוטוסינתזה), ממנגנונים (ברירה טבעית והסתגלות) ומיחסי הגומלין בין אורגניזמים (תחרות, טפילות).

דרכים נוספות של מעורבות האדם בסביבה: תעשייה, תחבורה, מגורים.

## א.1. ביולוגיה, אקולוגיה ומדעי הסביבה

אקולוגיה היא מדע רב-תחומי המתבסס על תחומים שונים; בעיקר ביולוגיה לתחומיה (אבולוציה, התנהגות) וכן מדעים אחרים (כימיה, פיזיקה, מדעי כדור הארץ, מדעי האטמוספירה ומדעי הסביבה).

התחום **מדעי הסביבה** הוא ענף חדש יחסית במדע המתמקד במעורבותו של האדם בסביבה הטבעית והשפעתו עליה, וכן בהשפעת הסביבה על האדם. **החקלאות** היא אחת הדוגמאות למעורבות האדם בסביבה. אחת המטרות של המחקר במדעי הסביבה היא להציע דרכים להגן על **הסביבה** ועל ערכי הטבע למען הדורות הבאים.

הידע המצטבר מהמחקר האקולוגי והסביבתי תורם ליכולתנו לחזות שינויים בסביבה הטבעית, שנובעים מיחסי הגומלין בין האדם לבין סביבתו. ידע זה מהווה בסיס להצעת דרכים להגנה על

הטבע ועל הסביבה ולשיקום מערכות אקולוגיות שנפגעו. כמו כן, הידע האקולוגי מסייע לענות לשאלות כגון אלה:

- מה עשויה להיות ההשפעה של הזרמת ביוב ושפכים תעשייתיים לים ולירקון?
- מדוע מתנגדים רבים לסלילת הקטע הצפוני (קטע 18) בכביש חוצה ישראל ולסלילת כביש נוסף בין תל אביב לחיפה?
- היכן יש למקם מפעלים, תחנות כוח ויישובים כך שהפגיעה במערכות אקולוגיות תהיה מזערית (מינימלית)?
- מהי השפעת גידול דגים בכלובים במי מפרץ אילת על המערכת האקולוגית של המפרץ בכלל ושל שוניות האלמוגים בפרט?
- כיצד ניתן לשקם מערכות אקולוגיות שנפגעו?
- איך ניתן לצמצם את הנזק שנגרם לחקלאים מהעופות הנוודים?
- מהי הדרך הנכונה למחזר פסולת ביתית ולמזער את נזקה לסביבה, וכיצד ניתן להפיק תועלת מפסולת זו?

השאלות המוצגות מצביעות על הקשר בין הידע האקולוגי לבין הבעיות הסביבתיות והדרכים לפתרונן. שאלות אחדות נוגעות בדילמה המתעוררת בין פיתוח לבין שימור (כביש או טבע?) ואחרות בדילמות אתיות (טבע או פרנסה?)

שאלה א-1



אספו מהעיתונות היומית שלוש ידיעות העוסקות בפעילות האדם המשפיעה על הסביבה.

מה תהיה השפעתן הצפויה (השפעה שלילית או השפעה חיובית) של פעילויות האדם על הטבע ועל הסביבה? הסבירו.

כאשר לומדים על גוף האדם עוסקים ברמת הארגון של האורגניזם: אורגניזם אחד, מבנהו ותפקודו.

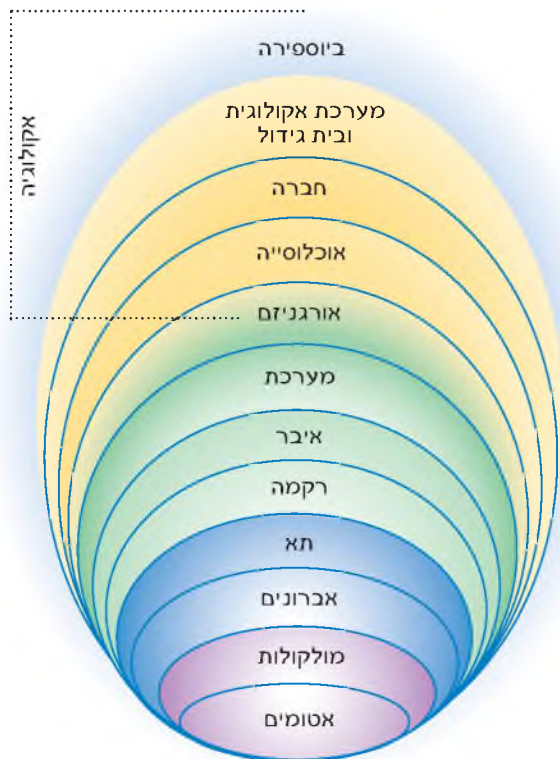
## 2. אקולוגיה בסולם רמות הארגון

האקולוגים חוקרים תופעות בכמה **רמות ארגון** (איור א-1). לעתים המוקד הוא אורח חייו של אורגניזם מסוים והתאמתו לסביבתו. במקרים אחרים זהו **בית הגידול** של אורגניזם מסוים, כמו אירוס הגלבו, קרפדה או יערון. בבית הגידול מתקיימת **חברה** הכוללת **אוכלוסיות** של אורגניזמים שונים שיש ביניהם יחסי גומלין והיא מושפעת מהתנאים הפיזיים המאפיינים את בית הגידול.

ברמה כוללת יותר נחקרת **המערכת האקולוגית**, כגון אגם וסביבתו או יער גשם טרופי. במערכת אקולוגית יש, בדרך כלל, מגוון של בתי גידול.

רמת הארגון הכוללנית ביותר היא **הביוספירה** הכוללת את כל צורות החיים ואת תפוסתם של האורגניזמים למיניהם ביבשות, בימים ובאטמוספירה.

המשותף לכל רמות הארגון שהאקולוגיה עוסקת בהן הוא שהן מורכבות מאוד ודינמיות: כל מרכיביהן ותנאיהן משתנים עם הזמן: משנה לשנה, מעונה לעונה ואף מבוקר עד ערב. המורכבות והדינמיות מקשות על החוקר המבקש להבין את המתרחש במערכת האקולוגית, אך הן גם אלה העושות את האקולוגיה לנושא מעניין ומרתק.



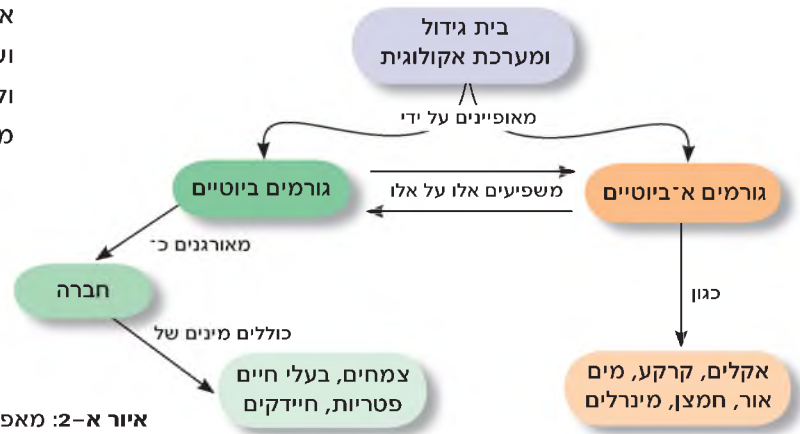
איור א-1: רמות ארגון בביוספירה

### א.3. מאפיינים של בית גידול ושל מערכת אקולוגית

איור א-2 מבהיר מקצת מהמורכבות של בית הגידול ושל המערכת האקולוגית. כדי להכיר אותם היטב ולהבין את המתרחש בהם אין אלא לעסוק בחלקים מתוכם, ודרכם ללמוד על המערכת כולה.

החץ הכפול באיור א-2 בא להדגיש את ההשפעה ההדדית של הגורמים הביוטיים והא־ביוטיים.

**תפיסה שגויה 9 ראו**  
טבלה בעמוד מ-10.



איור א-2: מאפיינים של בית גידול ומערכת אקולוגית



סרטן בחולות חוף הים



צבי מים בנחל אלכסנדר

#### על מושגים: בית גידול ומערכת אקולוגית

למעשה אין הבדל של ממש בין מערכת אקולוגית לבין בית גידול, ולמרות זאת מבחינים בין שני מושגים אלו. ההבדל ביניהם הוא גודלו של השטח הנלמד או הנחקר. בית גידול הוא לרוב שטח שממדיו קטנים יחסית ולעתים מתמקדים במין (species) אחד (בדרך כלל – בעל חיים), לעומת זאת כאשר חוקרים מערכת אקולוגית מתייחסים לבתי גידול שונים ולמגוון גדול של אורגניזמים.

#### גורמים א־ביוטיים וגורמים ביוטיים

האקולוגים חוקרים את בית הגידול על כל היבטיו: היבט אחד הוא הגורמים הא־ביוטיים, כלומר התכונות הפיזיות של בית הגידול: האקלים (משקעים, טמפרטורה, רוחות, מידת הלחות באוויר), הקרקע, המים, האור, החמצן והמינרלים. אלו הם הגורמים שאינם אורגניזמים חיים. הגורמים

המדבר שאנחנו מכירים הוא חם ויבש אך יש מדבריות שהם קרים מאוד ויבשים.

הא־ביוטיים משפיעים במידה ניכרת לעין על האורגניזמים החיים בבית הגידול. לדוגמה: בבית גידול מדבריים באזורנו גדלים אך מעט צמחים וחיים מעט בעלי חיים וזאת בשל מיעוט המים והמזון, הלחות הנמוכה והטמפרטורה הגבוהה.



גמל בבית גידול מדברי



בית גידול מדברי

היבט אחר הוא **הגורמים הביוטיים** - האורגניזמים החיים בבית הגידול. כאן חשוב להדגיש כי עם הגורמים הביוטיים נמנים לא רק הצמחים, בעלי החיים ופטריית הנראים לעין, אלא גם האורגניזמים שאינם נראים לעינינו. ביניהם נמצא את התולעים והחרקים החיים על פני הקרקע ובתוכה ואת הפטריות והחיידקים החיים בעיקר בתוך הקרקע. קבוצה חשובה אחרת של אורגניזמים הם הטפילים למיניהם החיים על אורגניזמים אחרים או בתוך גופם. הגורמים הביוטיים משפיעים אלה על אלה משום שהם ניזונים זה מזה, מתחרים ביניהם על מקורות המזון ומקומות המחיה או מקיימים ביניהם חיי שיתוף שחיוניים לקיומם.

הגורמים הביוטיים משפיעים גם על הסביבה הא־ביוטית. דוגמאות להשפעה זו:

- תהליך הפוטוסינתזה הוא המקור לחמצן המהווה כ־20% מהרכב האטמוספירה.
- יערות צעירים ואצות שבאוקיינוסים תורמים להקטנת ריכוז ה־CO<sub>2</sub> ("גז חממה") באטמוספירה.
- המיקרואורגניזמים - חיידקים ופטריית - תורמים לפוריות הקרקע ולגידול מיטבי של צמחים.
- שלשולים, חולדים ושורשי צמחים משנים את מרקם הקרקע ואת הרכבה.
- התרבות של חיידקים מסוימים במים פוגעת באיכות המים באגמים.
- הגז מֶתָאן (CH<sub>4</sub>) הנפלט ממערכת העיכול ומהפרשות של חיות משק (מעלי גירה) הוא "גז חממה" התורם לעליית הטמפרטורה באטמוספירה. חיות משק הם מקור חשוב למתאן באטמוספירה (המקור השני בחשיבותו לאחר התעשייה).

## תנאים, משאבים וגורמים מגבילים

הגורמים הא־ביוטיים משפיעים בדרכים שונות על האורגניזמים. מקצת הגורמים הא־ביוטיים כמו הטמפרטורה, עצמת הרוח או ה־pH והמליחות של הקרקע, יוצרים את **התנאים** שבבית הגידול. גורמים א־ביוטיים אחרים כמו אור, מים, חמצן, CO<sub>2</sub> ומינרלים הם **משאבים** חיוניים שאורגניזמים צורכים אותם. הגורמים הא־ביוטיים היוצרים את התנאים אינם מתכלים, לעומת זאת כמותם

עוד על

**השפעת גורמים ביוטיים אלה על אלה**  
ראו בפרקים ג ו ד.

הטפילים הם קבוצה מגוונת של אורגניזמים מכל קבוצות המיון: חיידקים, פטריות, צמחים ובעלי חיים.

כדאי לבדוק אם התלמידים מכירים / זוכרים את עיקרי הפוטוסינתזה.

התרבות חיידקים אווירניים פוגעת באיכות המים משום שהיא מקטינה את זמינות החמצן וגורמת לתמותת דגים ואורגניזמים צורכי חמצן נוספים.

או זמינותם של המשאבים יורדת כתוצאה מצריכה או ניצול שלהם, והם עשויים להיות מוקד לתחרות בין האורגניזמים.

הגורמים הביולוגיים עצמם, כלומר צמחים, בעלי חיים ואורגניזמים אחרים, יכולים להוות משאבים חיוניים עבור אורגניזמים אחרים בבית גידול, שכן הם ניזונים אלה מאלה (למשל: צמחים משמשים מזון לאוכלי עשב, בעלי חיים נאכלים על ידי טורפים) והם גם מהווים מקום חיות לטפילים ולאורגניזמים אחרים (למשל: חרקים, פטריות) ומקום קינון לבעלי כנף.

טבלה א-1: גורמים א־ביולוגיים וביולוגיים; תנאים ומשאבים

דוגמאות		גורמים א־ביולוגיים
תנאים	טמפרטורה, אור, רוח, חומציות ומליחות הקרקע	
משאבים	אור, מים, חמצן, CO <sub>2</sub> , מינרלים, מרחב מחיה, מקומות מחסה	
משאבים	מזון (צמחים, בעלי חיים, שיירים), פונדקאים, מאביקים, עצים לקינון	

כל אחד מהתנאים בבית הגידול או מהמשאבים (טבלה א-1) העומדים לרשות האורגניזם יכול להיות **גורם מגביל**.

**על מושגים: גורם מגביל**

גורם (משאב או תנאי) ששינוי ברמתו או בעצמתו משנה (מגביר/מאט/מעכב) את הקצב של תהליך באורגניזם או את קצב גידול האוכלוסייה.

ניתן למיין גורמים מגבילים לשתי קבוצות בהתאם לאופי פעולתם (איור א-3):



איור א-3: השפעתם של תנאים (עקום א') ומשאבים (עקום ב') כגורמים מגבילים

בקבוצה אחת נכללים **התנאים** בבית הגידול, כמו: טמפרטורה, pH, רמת מליחות. גורמים אלו, שלא כמשאבים, אינם נצרכים, ולפיכך השפעתם על תהליכים באורגניזמים או על תהליכים באוכלוסיות שונה מהשפעת המשאבים. השפעה זו מתוארת בעקום א: התהליך יתקיים במיטבו רק בטווח מסוים של הגורם – הטווח המיטבי (האופטימלי). משני צדיו של הטווח המיטבי קצב התהליך או גודל האוכלוסייה נמוך מזה שבטווח המיטבי. מצורת העקום גם ניתן להבין

**טבלה א-1: הקשר בין המושגים המוכרים – גורמים ביולוגיים וא־ביולוגיים – לבין המושגים החדשים תנאים ומשאבים:** על פי המוצג בטבלה גורם א־ביולוגי יכול להיות תנאי ו/או משאב.

**אור כמשאב:** אף על פי שנראה לעין שכמות האור היא אינסופית ואינה קטנה כתוצאה מצריכתו, זמינותו של משאב האור לצמח מושפעת מצריכה או ניצול על ידי צמחים אחרים בסביבתו.

**ריבוי פנים של תופעות באקולוגיה:** אור הוא גם משאב (מקור אנרגיה לפוטוסינתזה) וגם תנאי סביבתי המשפיע על התפתחות.

**גורם מגביל:** ההגדרה כאן היא הגדרה רחבה המתאימה הן לתנאים והן למשאבים. תהליך באורגניזם מתייחס גם לתהליכים בתאי האורגניזם. ראו גם: עמוד מ-21.

**עקום א** הוא עקום אופטימום, המוכר לכם מפעילות אנזימית בהשפעת טמפרטורות שונות או דרגות pH. **עקום ב** הוא עקום רווייה, המוכר לכם מפעילות אנזימית בהשפעת ריכוזי מצע (משאב) שונים.



שבתנאים קיצוניים התהליך או האורגניזמים אינם יכולים להתקיים עוד. השפעתם של תנאים כגורמים המגבילים את קצב התהליכים או גודל האוכלוסיות בולטת בייחוד בבתי גידול שבהם יש טמפרטורות קיצוניות, ריכוזים גבוהים של מלחים, מתכות או חומצות רעילות.

בקבוצה האחרת נכללים המשאבים שהאורגניזמים זקוקים להם. לעתים קרובות מתחרים כמה אורגניזמים על משאבים שכמותם מוגבלת. לדוגמה: מזון ומקומות מחסה וקינון לבעלי חיים בבית גידול, מים (במדבר), חמצן (בסביבת חיים מימית), אור (כמקור אנרגיה לתהליך הפוטוסינתזה בצמחייה צפופה או ביער).

השפעתו של משאב מתוארת באופן כללי בעקום ב: עד לרמה מסוימת של כמות המשאב (קו אנכי מקווקוו) המשאב מהווה גורם מגביל, ועלייה בכמותו בתחום זה מביאה לעלייה בשיעור התהליך או בגודל האוכלוסייה. מעבר לנקודה זו שיעור התהליך מתייצב ואינו עולה עוד, שכן משאב אחר הופך להיות הגורם המגביל את התהליך.

לדוגמה: כאשר גדלה כמות המזון, תגדל האוכלוסייה עד לגבול מסוים. הגדלה נוספת בכמות המזון, לא תשפיע על גודל האוכלוסייה אם גורם אחר, למשל מים או מקומות קינון, אינו נמצא בשפע ואז זה הופך להיות הגורם המגביל.

שילוב ההשפעות של התנאים השוררים בבית הגידול וזמינות המשאבים העשויים להגביל את קיום האורגניזמים קובע את הגודל המרבי של אוכלוסייה של מין מסוים שיכולה להתקיים בבית גידול. הגודל המרבי של האוכלוסייה מוגדר כ**כושר הנשיאה** של בית הגידול. שימו לב שכושר הנשיאה מתייחס לאוכלוסייה של מין מסוים. לפיכך כושר הנשיאה של בית הגידול עבור אוכלוסייה אחת אינו זהה לכושר הנשיאה של בית גידול זה עבור אוכלוסייה של מין אחר. אחד הנושאים המדאיגים את האנושות הוא כושר הנשיאה המוגבל של כדור הארץ לגבי אוכלוסיית בני האדם.

## 4. התאמה של אורגניזמים לסביבתם

### מהות ההתאמה

כל המתבונן בטבע יכול להבחין שאורגניזמים שונים אלה מאלה בתכונותיהם, ולרוב הם מותאמים לתנאים הביוטיים והא־ביוטיים שבסביבתם ולמשאבים שהיא יכולה לספק להם.

 תפיסה שגויה 4 ראו טבלה בעמוד מ-10.

ההדגשה על כך שהתאמה היא תכונה באה להבדיל את התכונות מהתהליך האבולוציוני שהביא להתפתחותן. הדוגמאות בהמשך הן של תכונות נראות לעין אך יש תכונות שאינן נראות לעין כמו עמידות למחלות או נוכחות חומרים רעילים שגם הן תורמות להישרדות. ראו גם: עמודים מ-22 – מ-23), וסעיף 5 בטבלה שבעמוד מ-10.



דוב לבן בקוטב

### במה מתבטאת ההתאמה של אורגניזם לסביבה?

התאמה של אורגניזם לסביבה מתבטאת בתכונותיו המיוחדות, כפי שמוצג בדוגמאות הבאות:

- דובים החיים בקוטב הם בעלי פרווה סמיכה המגינה עליהם מפני הקור, צבעה הלבן מסייע להם להשתלב בסביבה (שלג וקרח) ולחמוק מאויביהם.
- פרחים רבים, למשל כלנית ופרג, הם בעלי צבעים עזים המושכים אליהם את החרקים המאביקים אותם.
- לפרפרים, לדגים ולזחלים יש לעתים צבעים (כתום, אדום, שחור) וצורות ("עיניים") המרתיעים או מטעים את טורפיהם.
- לדגים החיים במים מלוחים (מי ים) יש בלוטות המפרישות עודפי מלח.

- ישנם פרחים שהמבנה שלהם מותאם באופן ייחודי למבנה הגוף של החרק או של הציפור המאביקים אותם וכך גדלים סיכויי ההאבקה של הפרח.
- ישנם צמחים המייצרים חומרים רעילים המונעים את אכילתם על ידי בעלי חיים.
- עצים הגדלים בארצות שבהן החורף קר מאוד משירים את עליהם בחורף.
- לצמחים מטפסים יש אברים מיוחדים – קנוקנות – המסייעים להם להיאחז בקיר או בגדר.

**שאלה א-2** תשובה בעמוד מ-40.



מיינו את הדוגמאות שלעיל על פי ההתאמות של אורגניזמים לגורמים א־ביוטיים ועל פי ההתאמות לגורמים ביוטיים.



תפרחת ומאביק



קנוקנות בשעונית (צמח מטפס)

**על מושגים: התאמה והסתגלות**

הדוגמאות להתאמות שהובאו לעיל הן תכונות קבועות של האורגניזמים שהתפתחו כתוצאה מברירה טבעית במהלך **האבולוציה** והן עוברות בתורשה מדור לדור. בצד התכונות הקבועות יש לאורגניזמים גם תכונות המשתנות תוך כדי מהלך חייהם בתגובה לשינוי בתנאי הסביבה. השינוי בהתנהגות, בפיזיולוגיה או במבנה שחל בתגובה לתנאי הסביבה תוך כדי **מהלך חייו** של האורגניזם, נקרא **הסתגלות**. דוגמה להסתגלות היא הגידול במספר תאי הדם האדומים אצל אנשים העוברים לגור במקומות גבוהים, שבהם לחצו החלקי של החמצן באוויר נמוך יחסית. כאשר אותם אנשים חוזרים לחיות במקומות נמוכים, יחזור מספר תאי הדם האדומים לרמתו הרגילה. דוגמה חשובה אחרת להסתגלות היא התפתחות נוגדנים וזיכרון חיסוני אחרי חשיפה לגורמי מחלה (אנטיגנים). דוגמאות אחרות להסתגלות הן: התארכות הפרקים בצמחים הגדלים בחושך, שינוי צבע העור בזיקית, התפתחות שרירים אצל ספורטאים. התופעות של הסתגלות לשינויים בתנאי הסביבה משתנות בטווח הזמן של חיי הפרט, הן הפיכות ואינן עוברות בתורשה לצאצאים (לספורטאי לא ייוולד תינוק בעל שרירים מפותחים). עם זאת חשוב לדעת **שהיכולת להסתגל לתנאי סביבה משתנים (בטווח ידוע ומוגבל) היא כשלעצמה התאמה**, כלומר תכונה העוברת בתורשה מהורים לצאצאיהם. מכאן שהתאמה היא תכונה תורשתית קבועה של פרט (התנהגותית, מבנית מורפולוגית או פיזיולוגית) או יכולת תורשתית להסתגל לסביבה המשפרת את הסיכוי שלו לשרוד בסביבתו ולהתרבות בה לעומת פרטים אחרים באוכלוסייה שאינם נושאים תכונה זאת.

לתלמידים קשה להבחין בין התאמה לגורמים א־ביוטיים לבין התאמה לגורמים ביוטיים, ראו טבלה בעמוד מ-10 סעיף 5.

עוד על התאמה והסתגלות ראו עמודים מ-22-23.

על הלחצים החלקיים של גזים ראו בספר הביולוגיה של האדם עמוד 51.

תפיסה שגויה 2 ראו טבלה בעמוד מ-10.



זיקית

תפיסה שגויה 3 ראו  
טבלה בעמוד מ-10.

### ■ תרומת ההתאמה להישרדות האורגניזם

מכלול ההתאמות מתבטא ביכולתו של האורגניזם לגדול, לשרוד ולהעמיד צאצאים בסביבה שהוא חי בה. מידת ההתאמה של אורגניזם לסביבתו ניתנת לבחינה על פי כמה תכונות:

1. כושר התחרות בהשגת משאבים.
2. כושר העמידה בפני מזיקים, טפילים אוכלי עשב וטורפים או כושר ההימלטות מטורפים.
3. עמידות בתנאי סביבה קיצוניים, כמו מיעוט מים וטמפרטורה קיצונית (גבוהה מאוד או נמוכה מאוד) ורעלים.
4. כושר התרבות.

המשותף לכל התכונות הללו הוא שהן מגדילות את סיכויי האורגניזם לשרוד ולהעמיד דור חדש של צאצאים פוריים שיגיעו לבגרות. המשכיות זו היא המדד התקף ביותר להתאמת האורגניזם לסביבתו. מי שאינו מצליח להעמיד דור צאצאים שימשיכו את הדורות בסביבה מסוימת, אינו מותאם היטב לסביבה זו. הדגשנו את המלה **סיכוי**, משום שאין בנמצא תכונה שבכל תנאי ובכל מצב תורמת להישרדות האורגניזם. הסביבה מזמנת לאורגניזמים החיים בה אירועים ושינויים בלתי פוסקים ולעתים בלתי צפויים מראש. לכן תכונה מסוימת עשויה להגדיל את הסיכוי לשרוד בסביבה מסוימת, אך אין ביטחון מלא בכך.

#### על מושגים: התאמה וקשירות

**התאמה** היא, כאמור, תכונה המגדילה את סיכויי הפרט לשרוד בתנאי הסביבה שהוא חי בה ולהתרבות. גם הסיכויים של צאצאיו לשרוד בסביבה זו גדולים יותר מאלה של צאצאי פרטים אחרים. התאמות לבית הגידול מגדילות, אם כך, את תרומת צאצאיו של פרט מותאם לדורות הבאים באוכלוסייה בהשוואה לתרומתם של צאצאי פרטים אחרים באותה אוכלוסייה. כלומר ההתאמות מגדילות את **הקשירות** של הפרט המותאם.

לא בכל אורגניזם המותאם היטב לסביבתו נמצא את ארבע התכונות שפורטו לעיל ברמתן המרבית. הסיכוי להעמיד צאצאים שגם יגיעו לבגרות תלוי באיזון בין התכונות האלו. כדי להבין את משמעות האיזון בין התכונות נבחן את הכושר להעמיד מספר רב של צאצאים. לכאורה אפשר לחשוב שככל שירבה מספר הצאצאים, כך תגדל התרומה של הפרט לדורות הבאים. אך לא בכל מצב מספר רב של צאצאים הוא יתרון. אצל ציפורים ויונקים גידול צאצאים רבים מטיל



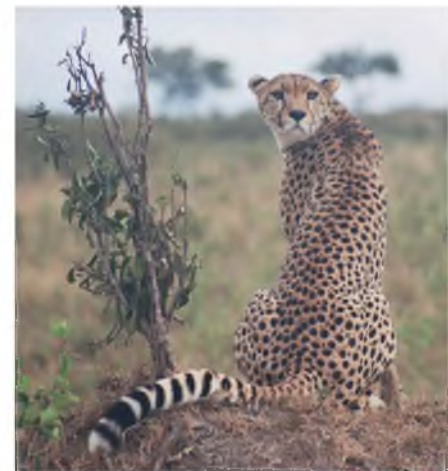


ציפור מאכילה גוזלים

עול כבד על ההורים: יש לדאוג למזון ולהגן על הגוזלים או על הגורים מפני טורפים. לכן סביר, שבמקרים אלו מספר גדול מאוד של צאצאים אינו תורם להישרדותם, ויש יתרון דווקא למספר צאצאים קטן יותר, שהסיכויים שלהם להגיע לבגרות ולהעמיד צאצאים משלהם גדולים יותר.

דוגמה נוספת היא הצ'יטה. הצ'יטה ידועה ביכולת הריצה המהירה שלה, היא יכולה להגיע למהירות גבוהה ביותר, כשהיא רודפת אחרי טרף. מבנה גופה הגמיש, הרגליים הארוכות וגופה הרזה תורמים ליכולתה לרוץ במהירות ובכך תורמים ליכולתה לספק מזון – טרף לצאצאיה. אך מבנה גופה זה, מהווה חיסרון כאשר עליה להגן על טרפה מפני אורחים "בלתי קרואים", למשל הצבועים שהם חזקים וכבדי גוף, המשתוקקים גם הם ליהנות מה"סעודה". כלומר ליכולת הריצה יש "מחיר" – פחות יכולת הגנה.

יצירת חומרים רעילים בצמח היא דוגמה נוספת ל"מחיר" ההתאמה: כדי לייצר אותם הצמח משקיע משאבים, חומרי גלם ואנרגיה, שהיו יכולים להיות מיועדים לגדילה וליצירת זרעים ופירות, ועם זאת עצם קיומם בצמח מסייע להישרדותו.



צ'יטה



שפע פרחים

### מעניין לדעת: יש "מחיר" להתאמה

עצים רבים (למשל שקד, כליל החורש) משקיעים משאבים רבים ליצירת פרחים רבים שלא כולם יופרו, ולפיכך לא יתפתחו בהם זרעים. זהו סוג של התאמה: הפרחים הרבים הם השקעה באמצעי "פרסומת" המיועד למשיכת מאביקים המעלה את הסיכוי להפריה וליצירת פירות.

**?? תפיסה שגויה: יש תלמידים הסבורים שתכונה תורשתית אינה מושפעת מהסביבה. איור א-4 מדגים שלא כך הדבר. ראו גם: תשובה לשאלה א-3 בעמוד מ-40 וסעיף 2 בטבלה שבעמוד מ-10.**

### סוגים של התאמה

נהוג למיין את ההתאמות לשלושה סוגים: התאמה של המבנה (התאמה מורפולוגית), התאמה פיזיולוגית ביוכימית והתאמה התנהגותית. חשוב לזכור כי תכונות האורגניזם, לרבות אותן תכונות התורמות להתאמתו לסביבה, נקבעות על ידי שני גורמים: המטען התורשתי ותנאי הסביבה (איור א-4).



איור א-4: מפת מושגים: תורשה, סביבה ותכונות האורגניזם

**תפיסה שגויה 3** ראו טבלה בעמוד מ-10.  
**ריבוי פנים של תופעות באקולוגיה:** במיין לסוגי התאמות - מנגנון הפתיחה והסגירה של הפיוניות הוא התאמה של המבנה וגם התאמה פיזיולוגית: מבנה תאי השמירה מאפשר את הסגירה והפתיחה אך התהליכים תלויים בתנועת המים והמלחים בתאי השמירה.



קוצים: התאמת מבנה

**שאלה א-3** תשובה בעמוד מ-40



צבעו של צמח שגדל בחושך הוא צהוב־בהיר. כמה ימים לאחר העברתו לאור הוא מוריק כולו. הסבירו את התופעה על פי הסכימה באיור א-4.

בטבלה א-2 מובאות דוגמאות לכל אחד מסוגי ההתאמה. דוגמאות נוספות תכירו בפרק ב, שבו יתוארו הגורמים הא־ביוטיים בבתי הגידול השונים וההתאמות אליהם ובפרק ד (יחסי גומלין).

טבלה א-2: דוגמאות לסוגים של התאמות

סוג ההתאמה	דוגמה
התאמה של המבנה (התאמה מורפולוגית)	<ul style="list-style-type: none"> <li>מבנה מקור הצופית מותאם למבנה הפרח שממנו היא שותה צוף.</li> <li>גפי הלוויתן (יונק ימי) מותאמים לתנועה במים.</li> <li>לעופות מים יש קרומי שחייה בין אצבעות הרגליים.</li> <li>יש חרקים הדומים במראם לעלים או לגבעולים וכך הם מוסווים מטורפיהם.</li> <li>קוצים חדים בצמחים מונעים פגיעה מבעלי חיים.</li> <li>עלים מגוונים (בעלי כתמים לבנים) או עלים מחוררים מרתיעים חרקים משום שהם נראים פגועים או אכילים.</li> <li>עלים רחבים בצמחים הגדלים בצל.</li> </ul>
התאמה של תהליכים פיזיולוגיים וביוכימיים	<ul style="list-style-type: none"> <li>הפרשת עודפי מלח מעלים בצמחים הגדלים בקרקע מלוחה.</li> <li>הפרשת עודפי מים בבעלי חיים החיים במים מתוקים.</li> <li>יצירת רעל בזחלי חרקים מונע את טריפתם.</li> <li>יצירת חומרים רעילים או בלתי טעימים בצמחים המקטינים את אכילתם על ידי אוכלי צמחים.</li> <li>היכולת לסגור ולפתוח את הפיוניות בתגובה לשינויים במאזן המים בצמח ובתנאי הארה.</li> </ul>
התאמה התנהגותית	<ul style="list-style-type: none"> <li>יונקים קטנים החיים במדבר פעילים בעיקר בשעות הלילה הקרירות.</li> <li>עופות נודדים מיבשת אחת לאחרת בעת חילופי העונות.</li> <li>נחש מתחפר בתוך החול, כאשר הטמפרטורה על פני החול גבוהה.</li> </ul>



מקלן: חרק דמוי גבעול

**שימו לב:**

אף שמיון ההתאמות לסוגיהן הוא נוח, לא ניתן להתייחס לכל אחד מסוגי ההתאמות בנפרד לגמרי, למשל: ההתנהגות של בעל החיים קשורה בהורמונים המופרשים בגופו ותלויה, אם כן, בתהליכים פיזיולוגיים־ביוכימיים.



התאמה של מבנה המקור למבנה הפרח

## התאמה ובריירה טבעית

הכרנו כמה דוגמאות של התאמות אורגניזם לסביבתו. התאמות כאלה הן שכיחות למדי בטבע. מתעוררת אפוא השאלה:

### איך מתפתח אורגניזם המותאם לסביבתו?



התאמות של אורגניזם לסביבתו הן תוצאה של **בריירה טבעית**. בטבע לא כל הצאצאים שורדים, אך אלה ששורדים ירשו מהוריהם תכונות/התאמות המקנות להם עדיפות על פני צאצאים אחרים: הם מצליחים לגבור על אחרים בתחרות על המשאבים המוגבלים של הסביבה, והם גם מצליחים להימלט מפני טורפים למיניהם. זוהי ה**בריירה הטבעית**. תהליך הבריירה הטבעית פועל על הפרטים באוכלוסייה והסיכויים של המותאמים לשרוד, גדולים יותר מהסיכויים של פרטים שאינם מותאמים באותה אוכלוסייה. במהלך דורות רבים של בריירה טבעית משתנה הרכב האוכלוסייה: שכיחותם של הפרטים בעלי התאמות לסביבה גדלה, וכך בהדרגה האוכלוסייה מותאמת יותר ויותר לתנאי סביבתה.

?? תפיסה שגויה 1 ראו  
טבלה בעמוד מ-10.

כדי להבין את תרומתה של הבריירה הטבעית לשינוי בשכיחות פרטים מותאמים באוכלוסייה נתאר את סיפורם של העשים באנגליה.

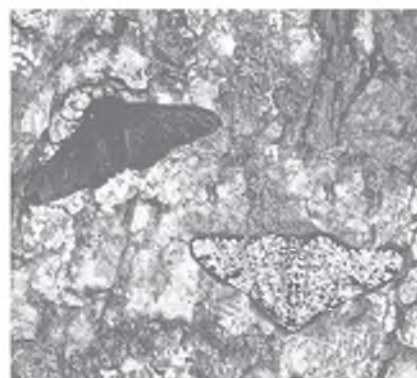
### ■ עשים כהים ובהירים

בסוף המאה ה-19 הבחינו חובבי פרפרים באנגליה בכמה עשים שצבעם כהה. באזור זה רוב העשים היו בהירים, ועשים שצבעם כהה נחשבו לנדירים. בשנים שלאחר מכן הפכו העשים הכהים לנפוצים יותר ויותר. בד בבד ירדה שכיחותם של העשים הבהירים.

### מה גרם לשינוי באוכלוסייה?



התברר שהעשים ממין זה נוהגים לנוח על גזעי עצים. צבעם של העשים הבהירים היה מותאם היטב לצבע קליפת העצים ולחזזיות הבהירות שגדלו עליהם (איור א-5) וכך הם הוסוו היטב מעיני הטורפים.



איור א-5: עשים בהירים וכהים על גזעי עצים

בעקבות התרבות מפעלי התעשייה גבר זיהום האוויר באזור, והעצים התכסו בפיוח שחור. זיהום האוויר גרם לא רק להשחרת העצים, אלא גם להיעלמות החזזיות הבהירות שגדלו על קליפתם.

ומה קרה לאוכלוסיית העשים? 

באוכלוסיית העשים גדלה שכיחותם של העשים שצבעם כהה, משום שעש בהיר הנח על פני גזע כהה בולט על פני השטח וחשוף יותר לטריפה, לעומתו העש הכהה מוסווה ואינו בולט. אם צבע העש הוא תכונה תורשתית, אזי סביר שהעשים הכהים ישרדו, יעמידו צאצאים שיהיו כהים אף הם, וכך תגדל שכיחותם של העשים הכהים באוכלוסייה.

נסכם את שרשרת האירועים שתוארו לעיל:

הדגש על רצף האירועים בא לסייע לתלמידים בעלי תפיסה "למארקיסטית": הרצף מדגיש שהשונות באוכלוסייה קדמה לשינוי בתנאי הסביבה ולברירה הטבעית. כלומר, השונות אינה תוצאה של השינוי בסביבה כפי שסבר למארק.

	<p><b>מצב התחלתי</b></p> <p>גזעי עצים מכוסים חזזיות בהירות. באוכלוסיית העשים יש שונות, יש בה פרטים בהירים ופרטים כהים, אך הכהים בולטים על רקע סביבתם, נטרפים לעתים קרובות יותר, ולכן נדירים יותר. עשים בהירים מוסווים היטב כאשר הם נחים על גזעי העצים. אוכלוסיית העשים מותאמת לסביבתה.</p>	
	<p><b>שינוי סביבתי</b></p> <p>התרבות מפעלי התעשייה הפולטים פיח שחור. בעקבות זאת, היעלמות החזזיות והצטברות פיח כהה על גזעי העצים.</p>	
	<p><b>השפעה על אוכלוסיית העשים</b></p> <p>עשים בהירים ניצודים יותר מאשר עשים כהים.</p>	
	<p><b>מצב חדש</b></p> <p>עלייה בשכיחותם של העשים הכהים באוכלוסייה. אוכלוסיית העשים מותאמת לסביבת חיים שהאוויר בה מזוהם בפיח והעצים משחירים.</p>	

שאלה א-4 תשובה בעמוד מ-40 

- מה היה קורה אילו אוכלוסיית העשים המקורית הייתה מורכבת כולה מעשים בהירים? הסבירו.
- בעקבות הגברת המודעות לזיהום האוויר באנגליה החלו להשתמש באמצעים המקטינים את שיעורי פליטת הפיח ממפעלי תעשייה, וכמות הפיח באוויר קטנה. מה קרה לדעתכם בעקבות שינוי זה בסביבה? השלימו את רצף האירועים שתואר לעיל.

**חוקרים אקולוגיה: ניסוי מבוקר בטבע**

החוקר קטלוול (Kettlewell) חקר בשנות ה-50 של המאה ה-20 את אוכלוסיית העשים באנגליה. באחד מניסויו הוא הניח מספר זהה של עשים בהירים ועשים כהים על עצים מזוהמים בפיה ועל עצים בעלי גזע בהיר. הוא צפה בעשים וספר את מספר העשים שניצודו על ידי ציפורים. תוצאות הניסוי מסוכמות בטבלה א-3.

טבלה א-3: מספר העשים שניצודו ביער של עצים מזוהמים וביער של עצים לא מזוהמים

העשים שניצודו				הסביבה שבה הונחו העשים
עשים כהים		עשים בהירים		
אחוז מכלל הניצודים	מס' העשים שניצודו	אחוז מכלל הניצודים	מס' העשים שניצודו	
86	164	14	26	יער לא מזוהם (גזעים בהירים)
26	15	74	43	יער מזוהם (גזעים כהים)

**שאלה א-5 תשובה בעמוד מ-41**

מה ניתן להסיק מתוצאות הניסוי? בהסבר היעזרו במושג "התאמה".

יש המבקרים את מערך הניסוי המתואר אך המסקנה שהעשים חשופים לברירה טבעית על ידי ציפורים הטורפות אותם – עדיין מקובלת.

1. השינוי באוכלוסיית העשים הוא דוגמה לברירה טבעית שהתרחשה באוכלוסיית העשים בתוך זמן קצר יחסית (פחות ממאה שנים). ברצף האירועים המוצג בעמוד הקודם יש שלוש נקודות חשובות להבנת התפתחות ההתאמה באמצעות ברירה טבעית:
1. באוכלוסיית העשים המקורית היו גם עשים בהירים וגם עשים כהים, אך שכיחותם של הכהים הייתה נמוכה יותר. כלומר באוכלוסיית העשים הייתה **שונות**, והיו ביניהם הבדלים בצבע.
2. השינוי הסביבתי **קדם** לשינוי שחל באוכלוסיית העשים.
3. הברירה הטבעית פועלת על הפרטים ומביאה לשינוי בשכיחות תכונות באוכלוסייה.

**תפיסה שגויה 1 ראו**  
טבלה בעמוד מ-10.

**שאלה א-6 תשובה בעמוד מ-41**

בתשובותיכם לשאלות הבאות השתמשו במושגים אלו:

- א. הרופאים מזהירים משימוש מוגזם בתרופות אנטיביוטיות. מה היא הסכנה שממנה חוששים הרופאים? הסבירו.
- ב. לאחר שנים אחדות שבהן השתמשו בקוטל היתושים DDT התברר שהוא אינו יעיל כבעבר. ציינו את השלבים שבהם התרחש שינוי זה.
- ג. בשנים האחרונות מתרבות ההמלצות להשתמש בהדברה ביולוגית במקום בקוטלי חרקים כימיים. האם עשוי השימוש בהדברה ביולוגית לאורך זמן לגרום לשינוי באוכלוסיית החרקים המזיקים? נמקו.
- ד. כיום ממליצים לחקלאים לא להשתמש באותו קוטל עשבים שנה אחר שנה, אלא להשתמש בחומרים שונים בשנים שונות. מה היתרון בשיטה זו? הסבירו.

השינויים באוכלוסיית העשים ובאוכלוסיות חיידקים וחרקים הם דוגמאות של **מיקרו־אבולוציה** – שינוי בשכיחות תכונות באוכלוסייה אך לא יצירת מין חדש לחלוטין או תכונה חדשה (מאקרו־אבולוציה).



**שימו לב:**

ההתאמות שחלו באוכלוסיית העשים, ובאוכלוסיות של חיידקים, עשבים ויתושים (שאלה א-6) נגרמו בעקבות שינוי סביבתי שגרמה מעורבות האדם. השינוי בסביבה אפשר לחוקרים לעקוב אחר השינוי באוכלוסייה שהתרחש במהלך זמן קצר יחסית (במונחים של לוח הזמנים "האבולוציוני"!), כמה עשרות שנים בלבד. בכל המקרים האלה ניתן היה לעקוב אחר התפתחות ההתאמה, משום שמדובר ביצורים המתרבים במהירות ומשך הזמן של הדור הוא קצר.

**■ פרטים לא מותאמים באוכלוסייה**

באוכלוסייה המתקיימת בסביבה מסוימת רוב הפרטים מותאמים לסביבה זו. אך חשוב לזכור, כי גם באוכלוסייה כזו יש שונות ונוכל למצוא בקרבה פרטים שאינם מותאמים היטב לסביבה.

**מדוע שורדים פרטים בעלי תכונות שאינן מקנות יתרון בסביבה מסוימת?**

לשאלה מעניינית זו יש כמה תשובות אפשריות:

- ייתכן שלא עבר זמן מספיק ולא כל ה"פחות מותאמים" נכחדו.
- לחץ הברירה (למשל כמות הטורפים) אינו כל כך חזק ומעטים מבין ה"פחות מותאמים" מצליחים להימלט מטורפיהם ולשרוד.
- באוכלוסייה קיימות תכונות אחרות המקנות יתרון התורם להישרדותם. דוגמה לכך היא עמידותם של חולי אנמיה חרמשית לטפיל המלריה. המבנה דמוי חרמש של תאי הדם האדומים מקשה על טפילי המלריה להתרבות בהם ותורם דווקא להישרדותם של החולים באנמיה חרמשית.
- הייתה הגירה מאזור אחר, ובין פרטיה היו גם כאלה שהם "פחות מותאמים".

תשובה נוספת ללומדי הנושא  
גנטיקה ראו בעמוד מ-23  
בהערות לעמוד 27.

**התחמקות מתנאי סביבה לא נוחים**

החיים בסביבה משתנה מובילים באמצעות ברירה טבעית להתפתחות של אורגניזמים בעלי התאמות שמקצתן תואר בפרק זה. כל אחת מההתאמות שתוארו מאפשרת חיים גם בתנאים שאינם אופטימליים. בד בבד התפתחו התאמות שונות המאפשרות להתחמק למשך זמן ארוך יחסית (עונה) מתנאי סביבה לא נוחים. הדבר הראשון העולה בדעתנו הוא שינוי מקום, כלומר: מעבר למקום שהתנאים בו נוחים יותר. בעלי חיים השוחים בים, חרקים ועופות בעלי כושר תעופה הם המפורסמים שבין "משני המקום". התופעה של שינוי מקום עם השתנות עונתית של תנאי הסביבה מוכרת לנו בשם **נדידה**. תופעת הנדידה בעולם החי היא מעניינת ומרתקת. אצל הנוודים התפתחו מנגנונים המאפשרים להם לחוש את השינוי הקרב בתנאים, להתכונן לקראתו ובסופו של דבר לבצע את הנדידה ולהגיע אל היעד הנוח. סכנות רבות אורבות לנוודים בדרך, וברור שלא כולם עומדים בתלאות הדרך.

ארצנו משמשת תחנת מעבר לעופות נוודים רבים בדרכם בסתיו מאירופה הקרה אל אפריקה החמה ובאביב בחזרה לאירופה. בין הנוודים המפורסמים נזכיר את החסידה, הסנונית והנחיליאי.



חסידה: עוף נווד בארץ



**התחמקות מתנאי סביבה  
לא נוחים ראו בפרק ב,  
צמחים חד-שנתיים  
וגיאופיטים.**

שינוי מקום אינו הדרך היחידה להתחמק מתנאי סביבה בלתי נוחים. דרכים אחרות להתחמקות הן צורות **התרדמה** השונות. במצב תרדמה מואט מאוד הקצב של תהליכי החיים באורגניזמים. הדוגמה הנפוצה לתרדמה היא המצב שבו מתקיימים הזרעים. זרעי הצמחים הם חיים, אך כמות המים בהם קטנה, והפעילות בהם נמוכה ביותר, וכמעט אינה ניתנת לתצפית ולמידה. בצורה זו יכול צמח חד-שנתי לעבור עונת שנה בלתי נוחה, כמו קיץ חם ויבש או כפור בחורף. תופעת התרדמה ידועה גם בקרב בעלי חיים. בשלולית החורף עוברים היצורים את הקיץ היבש בצורה של **ביצי קיימא** העמידות בתנאי יובש, הן יבקעו כאשר השלולית תשוב ותתמלא במים. יצורים אחרים בשלולית עוברים את תקופת היובש על ידי התחפרות בשכבות העמוקות והלחות, שם נשמרת לחות והטמפרטורה נמוכה יחסית במשך תקופת היובש. יונקים החיים באזורים קרים מאוד עוברים לעתים את תקופת החורף במצב רדום שבו המטבוליזם איטי וטמפרטורת הגוף נמוכה. זוהי **תרדמת חורף**. במקרה זה היונקים מותאמים למצב של חוסר מזון בחורף. תרדמת החורף מאפשרת לעבור תקופה זו כמעט ללא מזון.

#### שאלה א-7 תשובה בעמוד מ-41



- א. לאיזה מסוגי ההתאמה (טבלה א-2) ניתן לשייך את תרדמת החורף? (אפשר לציין יותר מסוג אחד) נמקו.
- ב. לפני תקופת התרדמה מצטבר שומן רב בגופם של בעלי החיים. האם לדעתכם, יש להצטברות השומן קשר למצב התרדמה? נמקו.
- ג. צבעם הכהה של העשים באזורי התעשייה הוא תכונה תורשתית המהווה התאמה לסביבה. האם עורם השזוף של עובדים בחקלאות ובבניין הוא התאמה או הסתגלות? נמקו. (ראו עמוד 20).

#### ■ סיכום הפרק

1. אקולוגיה היא המדע העוסק ביחסי הגומלין הקובעים את השפע ואת התפוצה של אורגניזמים.
2. אקולוגיה היא מדע רב-תחומי המתבסס על ידע והבנה בתחומים שונים הן בבילוגיה (אבולוציה, התנהגות) והן במדעים אחרים ובכלל זה מדעי הסביבה.
3. למעורבות האדם יש השלכות על הסביבה ועל בריאותנו ואיכות חיינו.
4. החקלאות היא דוגמה חשובה של מעורבות האדם בסביבה.
5. מדע האקולוגיה חוקר תופעות בכמה רמות ארגון: האורגניזם, האוכלוסייה, החברה, המערכת האקולוגית והביוספירה.
6. גורמים א־ביוטיים, גורמים ביוטיים, תנאים ומשאבים הם מאפיינים שונים של בית הגידול והמערכת האקולוגית, והם משפיעים אלה על אלה. משאבים, כגון מקורות מזון ומקומות קינון ותנאים, כגון טמפרטורה, יכולים להיות גורמים מגבילים בבית הגידול.
7. ההשפעה המשולבת של כל גורמי הסביבה קובעת את כושר הנשיאה של בית הגידול לאוכלוסייה של מין מסוים.
8. התוצאה של הברירה הטבעית במהלך האבולוציה היא ההתאמות של האורגניזמים לסביבתם (הביוטית והא־ביוטית).
9. היכולת של הפרט להסתגל במהלך חייו לשינויים בתנאי הסביבה היא כשלעצמה התאמה העוברת בתורשה.

10. ההתאמות לסוגיהן מגדילות את סיכויי האורגניזם לשרוד ולהעמיד דור חדש של צאצאים פוריים שיגיעו לבגרות.
11. ישנן דרכים שונות להתחמקות מתנאי סביבה לא נוחים כמו נדידה ותרדמה.
12. השינויים באוכלוסיית העשים באנגליה והתפתחות העמידות לאנטיביוטיקה ולקוטלי מזיקים הם דוגמאות לאבולוציה של התאמה לסביבה.

#### ■ מושגים חשובים

אבולוציה	כושר נשיאה
אוכלוסייה	כשירות
אקולוגיה	מעורבות האדם
ביוספירה	מערכת אקולוגית
בית גידול	משאבים
ברירה טבעית	נדידה
גורם מגביל	רמות ארגון
גורמים א־ביוטיים	שונות
גורמים ביוטיים	תנאים
הסתגלות	תרדמה
התאמה	תרדמת חורף

ב

גורמים א־ביוטיים  
והתאמות אליהם



## מבט על הפרק

לפרק ב שתי חטיבות עיקריות: סעיף ב1 מציג את ה"תמונה הגדולה" וסעיפים ב2-ב8 מאורגנים על פי הגורמים הא־ביוטיים. בכל סעיף מוסברת חשיבותו של הגורם לאורגניזמים ומתוארות התאמות לזמינותו ו/או לרמתו. הדיון בכל גורם א־ביוטי בנפרד מטשטש במידה מסוימת את התלות שבין הגורמים הא־ביוטיים, למשל בין קרינת האור לבין הטמפרטורה, ולכן סעיף ב1 מסתיים בהצגת התלות בין הגורמים הא־ביוטיים שהיא תוצאה של ההשפעות הדדיות ביניהם (עמוד 37). כמו כן, הודגשו קשרים כאלה בשולי הסעיפים השונים .



גורמים א־ביוטיים משפיעים זה על זה

הארגון של פרק ב עלול ליצור את רושם המוטעה שהגורמים הא־ביוטיים משפיעים על הגורמים הביוטיים ואין השפעה בכיוון ההפוך: השפעה של גורמים ביוטיים על הגורמים הא־ביוטיים. כדי להדגיש את השפעות הגומלין האלה הן צוינו בהערות שוליים לתלמיד. סעיפים ב3: **אור** וב4: **חמצן** חשובים להבנת הנושאים בפרק ג. לפי ניסיונם של מורים, פרק ב מתאים להוראת עמיתים בקבוצות: כל קבוצה מסבירה לקבוצות האחרות גורם א־ביוטי אחד.

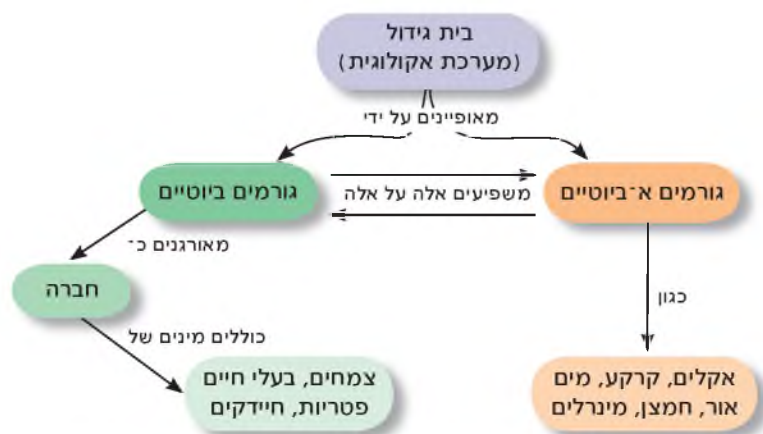
את הנושאים בפרק ב אפשר לארגן גם לפי המוצע בטבלה מ-11, עמוד מ-24.

## ב גורמים א-ביוטיים והתאמות אליהם

### ב.1. גורמים א-ביוטיים בסביבה והשפעתם על המערכות האקולוגיות



**הגורמים הא-ביוטיים** – המים, האור, החמצן, ה- $CO_2$ , תנאי האקלים (טמפרטורה, רוח ומשקעים) והקרקע – הם מרכיבים חשובים בכל בית גידול ובכל מערכת אקולוגית ומשפיעים במידה רבה על החי והצומח. מהמראה השונה של הנוף במקומות שונים בארץ ניתן להבין שמקומות שונים נבדלים אלה מאלה במכלול הגורמים הא-ביוטיים השוררים בהם והם משפיעים על אופיין של חברות האורגניזמים המתפתחות ומתקיימות בהם (איור ב-1).



איור ב-1: מפת מושגים: מאפיינים של בית גידול או מערכת אקולוגית

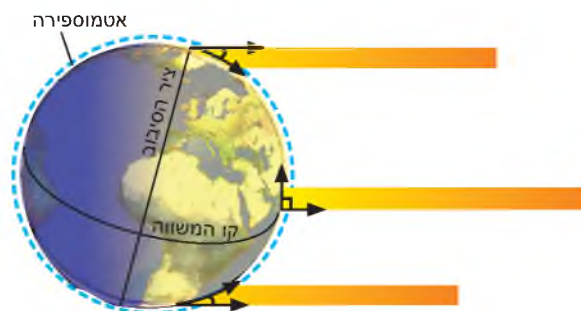
גם האזורים השונים על פני כדור הארץ נראים שונים מאוד זה מזה. באזורים הקרובים לקוטב הצמחייה היא דלה, והצמחים עצמם נמוכים וקטנים. רק מינים מעטים של בעלי חיים ימצאו בבתי הגידול שבאזורים הקרובים לקוטב. ככל שנתקדם לכיוון קו המשווה, ישתנה הנוף: נפגוש ביערות של עצי מחט, כדוגמת האורן והברוש, ובהמשך גם ביערות של עצים רחבי עלים, כמו האלון. באזור קו המשווה נראה יערות גשם עשירים בצמחייה ובעלי חיים.

הסיבה להבדלים בטיפוסי הצומח שבין אזורי קו המשווה והקוטב קשורה לקרינת השמש שהיא מקור של אנרגיית אור ושל חום. **קרינת השמש**

פוגעת במקומות שונים בכדור הארץ בזוויות שונות: באזור קו המשווה הקרינה פוגעת בקרקע בזווית ישרה ובאזורים המרוחקים מקו המשווה היא פוגעת בה בזווית חדה. זווית הקרינה של השמש הולכת וקטנה ככל שמתרחקים מקו המשווה (איור ב-2). כתוצאה מכך כל יחידת שטח באזור קו המשווה מקבלת יותר **קרינת שמש** מאשר הקרינה שמקבלת יחידת שטח באזורי הקוטב.

כאשר הזווית שבה פוגעת הקרינה היא חדה, שטח הפגיעה רחב וכל יחידת שטח זוכה לקרינה מועטה יותר.

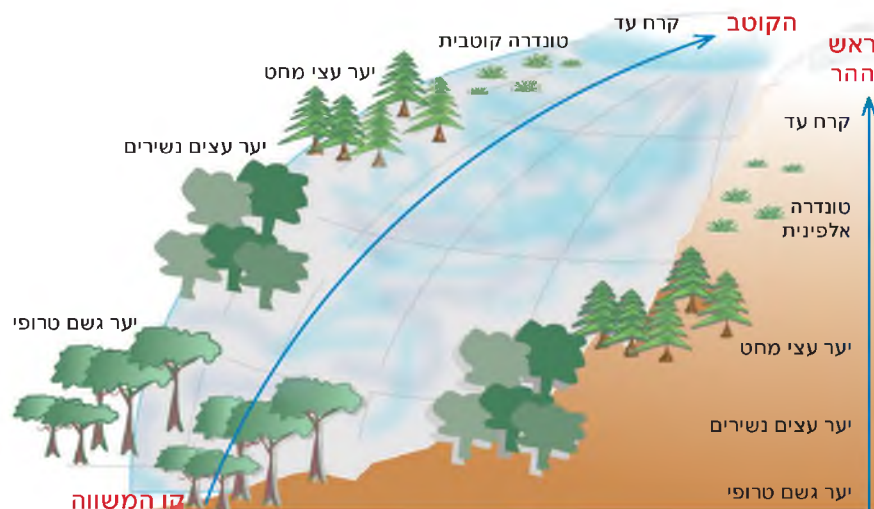
גורם נוסף המשפיע על הקרינה המגיעה לקטבים: המרחק הגדול יותר שהקרינה חוצה בתוך שכבת האטמוספירה בדרכה לפני כדור הארץ באזורי הקוטב מאשר באזורי קו המשווה.



איור ב-2: זווית הפגיעה של קרינת השמש במקומות שונים בכדור הארץ

הדבר המעניין הוא שנוכל להבחין בשינויים דומים בטיפוסי הצומח, כאשר נעלה לראשי הרים גבוהים: ככל שנעלה בהר ונתקרר לפסגתו ידמה הצומח לזה הקיים בקווי הרוחב הגבוהים (הקרובים יותר לקוטב), כפי שניתן לראות באיור ב-3.

איור ב-3: ההקבלה בין השתנות טיפוסי הצומח עם התקדמות מקו המשווה אל הקוטב לבין השתנות טיפוסי הצומח עם העלייה בגובה ההר.

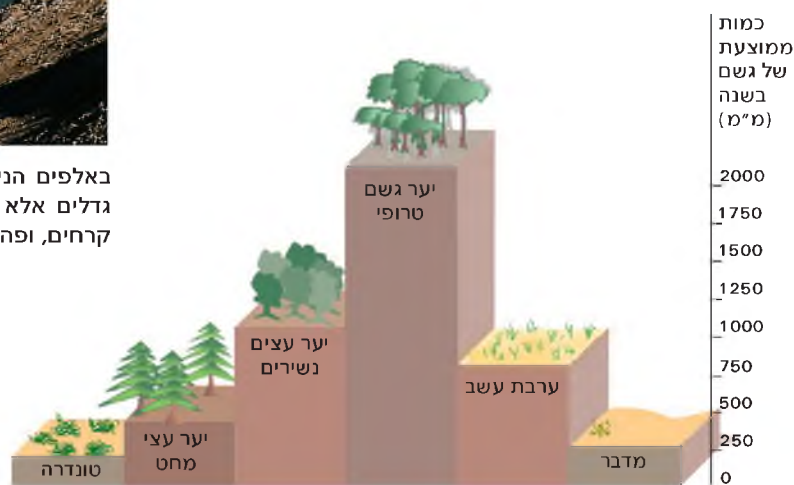


המשותף לאזורים בראשי ההרים הגבוהים ולאזורים הסמוכים לקוטב הוא הטמפרטורה הנמוכה ומיעוט המים הזמינים (מעט משקעים ורוב המים הם קפואים). בדיאגרמה (איור ב-4) תוכלו לראות את הקשר בין כמות המשקעים לבין טיפוסי הצומח.



באלפים הניוזילנדים מבחינים היטב בקו הגובה שמעליו עצים אינם גדלים אלא רק צמחייה נמוכה ("טונדרה אלפינית"). ראשי ההרים קרחים, ופה ושם מבחינים בשלג.

יש קשר בין קו הרוחב לבין הגובה שבו נעלם הצומח העצי: ככל שמתרחקים מקו המשווה והטמפרטורה נמוכה יותר, צומח הטונדרה מתחיל בגובה נמוך יותר (בחרמון - בגובה של כ-2000 מ').



איור ב-4: דיאגרמה: הקשר בין כמות המשקעים לבין טיפוסי הצומח



שאלה ב-1 תשובה בעמוד מ-42

א. בדקו מהי כמות המשקעים השנתית הממוצעת בגליל העליון ובנגב. האם יכול להתפתח יער טרופי באזורים אלו? הסתמכו על הדיאגרמה שבאיור ב-4.  
 ב. במדבריות ובקווי הרוחב הגבוהים הסמוכים לקוטב הצמחייה דלילה מאוד. מה משותף לאזורים אלה ומה שונה?

**הרחבה: טיפוסים הצומח העיקריים בכדור הארץ**

הטמפרטורה, הקרינה וכמות המשקעים השנתית קובעים את התפרוסת של טיפוסים חברות הצמחים העיקריות בכדור הארץ. להלן תיאור קצר של הטיפוסים העיקריים:  
**טונדרה** – אזורים של צמחייה נמוכה ודלילה: שיחים, עשבים, חזזיות וטחבים. הטונדרה אופיינית לאזורים שבהם הקרקע קפואה במשך כמה חודשים בשנה, למשל אזורים הגובלים עם הקוטב הצפוני או בפסגות ההרים.

**מדבר** – במדבר כמות המשקעים קטנה מ־250 מ"מ בשנה, הטמפרטורות ביום גבוהות מאוד ובלילה נמוכות מאוד. צמחיית המדבר מפוזרת ודלילה, ואין בו עצים גבוהים, אלא בעיקר עשבים חד־שנתיים ושיחים נמוכים.

**ערבה** – הערבה נפוצה באזורים של אקלים צחיח למחצה (250–500 מ"מ גשם בשנה) שיש בהם עונת יובש מובהקת. בערבה יש צמחייה עשירה של עשבים ודגנים, מעט עצים ושיחים פזורים. הערבה האופיינית לאזורים הטרופיים מכונה בשם "סוואנה".

**צומח ים תיכוני** – צומח המאופיין בעצים נמוכים עד בינוניים, שיחים ובני־שיח רחבי עלים ירוקי־עד ובעלי עלים נוקשים. צומח זה אופייני לאזורים שבהם החורף גשום וממוזג והקיץ יבש וחם.

**יער עצי מחט** – יערות עצי מחט, כגון אורן וברוש, נפוצים בחצי כדור הארץ הצפוני באזורים שהם לחים וקרים ברוב עונות השנה. עצי המחט הם ירוקי עד.

**יער ממוזג נשיר** – ביער זה עצים רחבי עלים המשירים את עליהם בחורף והוא אופייני לאזורים שבהם החורף קר ומושלג והקיץ נוח וגשום.

**יער גשם טרופי** – יער הגשם מתפתח באזורים שבהם קרינת השמש רבה וגשם יורד מדי יום ביומו. באזורים אלו כמות המשקעים השנתית יכולה להגיע עד 4,000 מ"מ (4 מטר!!) בשנה. הצירוף של גשם רב וטמפרטורה גבוהה – כ־30°C – יוצר תנאים להתפתחות של צמחייה עשירה וליצירת בית גידול מגוון ביותר הן מבחינת סוגי הצמחים והן מבחינת בעלי החיים הגדלים בו.

צמחייה: הרכב המינים.  
 צומח: הרכב חברות הצמחים  
 – יער, מדבר, ים־תיכוני.  
 הבימות השונות (טיפוסי הצומח) פרוסות כרצועות רחב על פני כדור הארץ ושמן נגזר מהצומח השליט ברצועה. בכל אחד מהאזורים ימצאו מערכות אקולוגיות ובתי גידול ייחודיים השונים במאפייניהם מהדגם הכללי. ישראל היא דוגמה לכך: מבחינת מערכת הבימות העולמית היא כלולה ביום הים־תיכוני אך לאורכה ולרחבה מוצאים מגוון רחב של חברות. טיפוסי הצומח הים־תיכוני, המדברי והערבתי מייצגים את שלושת האזורים הפיטו־גיאוגרפיים העיקריים בארץ.



צומח ים־תיכוני בחורש בכרמל

טיפוסי הצומח האופייניים לישראל הם הצומח הים תיכוני, הצומח המדברי והצומח הערבתי. צומח ים תיכוני אינו ייחודי לאגן הים התיכון וניתן למצוא גם בקליפורניה שבמערב ארה"ב, בדרום יבשת אפריקה, במערב אוסטרליה ובדרומה ובמרכז צ'ילה שבדרום אמריקה. בישראל נוכל למצוא דוגמאות לרוב טיפוסי הצומח, חוץ מהטונדרה ומיער הגשם הטרופי, למשל: בנגב הדרומי הצומח הוא מדברי. צומח ערבות מצוי באזור הנגב הצפוני ובשפלת החוף הדרומית. צומח ים תיכוני טיפוסי נמצא באזורי ההר. בכרמל ובגליל



נפוצים חורשים של חרוב מצוי, אלת המסטיק, אלה ארץ ישראלית ואלון מצוי. בהרי יהודה (בשמורת המסרק) ובכרמל ניתן למצוא שרידים של יערות אורן ירושלים (רוב יערות האורנים בארץ הם יערות נטועים ולא טבעיים). במקומות בודדים, כמו בחורשת טל שבגליל העליון, בכרמל ובאזור טבעון ניתן למצוא שרידים של יער אלון התבור (יער ממוזג נשיר). עצים אלו היו נפוצים בארץ בעבר ורבים מהם נכרתו בידי האדם.

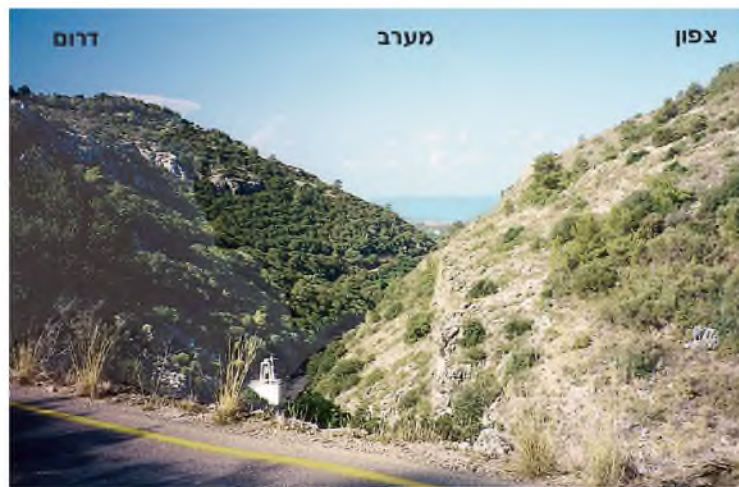


צומח מדברי בנגב



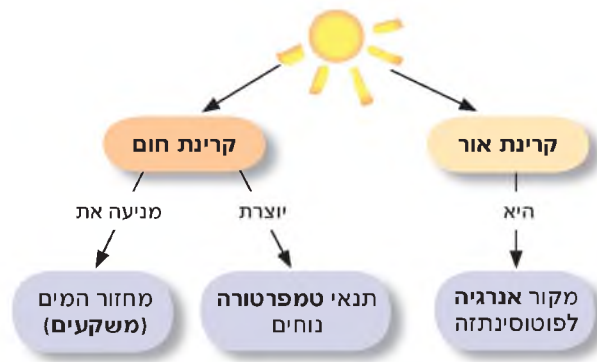
יער אלונים

תופעה בולטת שניתן להבחין בה בארץ היא עושר הצמחייה במדרונות הפונים כלפי צפון לעומת דלילות הצמחייה במדרונות הפונים כלפי דרום (איור ב-5). ההבדל בין שני המפנים נובע מהזווית של פני השטח יחסית לקרינת השמש והיא משפיעה על הטמפרטורה ועל זמינות המים במפנה; זווית הפגיעה של קרני השמש במפנה הדרומי קרובה ל-90° ולכן עוצמת הקרינה הפוגעת ביחידת שטח גבוהה יותר מאשר במפנה הצפוני, טמפרטורת הקרקע גבוהה יותר והמים מתאדים מהר יותר.



איור ב-5: מפנה דרומי (מימין) ומפנה צפוני בנחל אורן שבכרמל. שימו לב להבדל בכיסוי הצמחייה.

מתפרסת טיפוס הצומח על פני כדור הארץ אפשר ללמוד שאין גורם אחד בלבד הקובע אלו צמחים יהיו בבית גידול מסוים. קרינת השמש, הטמפרטורה, כמות המשקעים וסוג הקרקע הם בוודאי גורמים א־ביוטיים חשובים ביותר. אך חשוב מהם הוא **צירוף** התנאים או הגורמים השוררים במקום. יתרה מכך, הגורמים האלה תלויים זה בזה: הטמפרטורה וגם כמות המשקעים מושפעות מהקרינה (איור ב-6). כמו כן, גורמים אלה משפיעים על היווצרות הקרקע ועל תכונותיה.



איור ב-6: קרינת השמש משפיעה על מערכות אקולוגיות בכדור הארץ

לאחר שהכרנו את ה"תמונה הגדולה" – הגורמים העיקריים המשפיעים על המערכות האקולוגיות בכדור הארץ ובארץ – תוסבר בסעיפים הבאים חשיבותו של כל גורם א־ביוטי לחיי האורגניזמים ויתוארו ההתאמות לזמינותו או לרמתו של גורם זה בבתי הגידול השונים. ריבוי הגורמים המשפיעים על האורגניזמים בפרט ועל המערכת האקולוגית בכלל יוצר תמונה מורכבת ומסובכת ביותר. למעשה אין אפשרות לדון בגורם יחיד מבלי להתייחס להשפעה של גורמים אחרים. כך בפרק על המים נדון גם בבעיות הנשימה במים שבהם החמצן נמס מעט, ותודגש תכונת המים בשמירה על טמפרטורה יציבה. בפרק על הקרקע יתואר הקשר בין מרקם הקרקע לבין זמינות המים בהם, והקשר בין שני אלה לזמינות החמצן בקרקע. בסביבת חיים מדברית מיעוט המים, הלחות הנמוכה באוויר, אור רב וטמפרטורה גבוהה הם גורמים א־ביוטיים המושפעים זה מזה והשפעתם ההדדית על האורגניזמים היא המעצבת את המערכות האקולוגיות המדבריות. זרמי האוויר והרוח משפיעים על האורגניזמים, מכיוון שהם משפיעים על משק המים, על הטמפרטורה ועל הקרקע.



חוף ים סלעי



בית גידול מדברי (עין גדי)

## 2. מים: מרכיב בגופם של האורגניזמים וסביבת חיים



**ביולוגיה של האדם: מאזן מים בגוף.**  
**התא: מים הם מרכיב עיקרי בתא.**

**המים** הם אחד החומרים הנפוצים ביותר בכדור הארץ, ומכסים שלושה רבעים משטח פניו. המים הם משאב חיוני לאורגניזמים. חשיבותם נובעת, קודם כל, מהיותם המרכיב העיקרי בגופם של כל האורגניזמים. כ־ $2/3$  ממשקל גופנו הם מים, ואין אנו יכולים לחיות זמן רב ללא מים. הסביבה הפנימית של האורגניזמים היא בעיקרה סביבה מימית, והמים חיוניים לביצועם של התהליכים הכימיים המתרחשים בתאיהם. כמו כן מסייעים המים להובלת החומרים המומסים בתוך התא וממקום למקום בגוף. ביבשה המים אינם זמינים בכל עת ובכל מקום, ולעובדה זו יש השפעה רבה על בתי הגידול היבשתיים ועל האורגניזמים החיים בהם. המים הם גם בית גידולם של אורגניזמים רבים במשך כל ימי חייהם. לא בכדי החיפוש אחר חיים בכוכבים אחרים בחלל מתמקד בחיפוש אחר עדויות לקיומם, בעבר או בהווה, של מים; אם יימצאו סימנים לנוכחות מים יהיה בכך רמז לקיומם האפשרי של חיים.

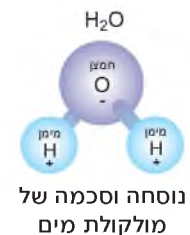


## תכונות המים וחשיבותן לחיי האורגניזמים

חשיבותם של המים לאורגניזמים נובעת מהתכונות המיוחדות שלהם.

טבלה ב-1: התכונות המיוחדות של מולקולות המים וחשיבותן לאורגניזמים

חשיבות לאורגניזמים	פירוט והסבר	התכונה ותאורה
<b>המסה:</b> מולקולות בעלות מטען חשמלי נמשכות אל מולקולות המים וכך חומרים מתמוססים במים. <b>משיכה לחומרים אחרים:</b> מסייעת לעליית המים בצניורות ההובלה בצמחים. <b>מתח פנים:</b> על פני המים נוצר משטח בעל מתח פנים חזק.	מולקולות של חומרים אחרים בעלות מטען חשמלי נמשכות למולקולות מים. מולקולות של מים נמשכות זו אל זו.	<b>קוטביות המולקולה:</b> הקוטב שבו נמצאים המימנים הוא בעל מטען חשמלי חיובי, והקוטב שבו נמצא החמצן נושא מטען חשמלי שלילי.
<b>ויסות טמפרטורה:</b> נמנעות תנודות קיצוניות בטמפרטורה הן בסביבת החיים המימית - באגמים ובימים - והן בתוך גופם (הסביבה הפנימית) של האורגניזמים. התקררות הגוף בעת התאדות הזיעה נובעת מכך שהאנרגיה הרבה הדרושה לאידוי הזיעה מקורה בגוף. בצמחים הדיות תורמת להורדת טמפרטורה.	כדי לחמם מים וכדי להפוך מים לאדים דרושה אנרגיה רבה.	<b>למים קיבול חום גבוה</b> המים מסוגלים לקלוט אנרגיית חום רבה בלי שהטמפרטורה שלהם תעלה עלייה ניכרת. ולהיפך - המים יכולים <b>לאבד</b> אנרגיה רבה בלי להתקרר באופן קיצוני.
שכבת הקרח, הקלה מהמים הנוזלים, צפה על פני האגם, מבודדת את המים שמתחתיה ומונעת את קפיאתם. כך יכולים החיים באגם להימשך גם בתקופת החורף הקר.	למים במצב מוצק - קרח - יש נפח גדול יותר ומסה סגולית קטנה יותר מאשר למים במצב נוזלי, ולכן קרח צף על פני המים.	<b>ה"אנומליה" של המים:</b> המים מתפשטים כשהם קופאים.



חרק (רץ מים שכיח) על פני מים

### שאלה ב-2 תשובה בעמוד מ-42



ציינו שני תהליכים באורגניזמים ושתי תכונות של הסביבה המושפעים מתכונותיהם המיוחדות של המים.

- בתהליכים המתרחשים בתאים משמשים המים הן כחומר מגיב והן כתוצר. לדוגמה:
  - בפוטוסינתזה נקשר מימן ממולקולת מים ל- $\text{CO}_2$  ונוצר סוכר.
  - בפירוק עמילן למולקולות קטנות יותר (גלוקוז) משתתפים מים כמגיב בתהליך.
  - בתהליך הנשימה התאית נוצרים מים והם מהווים מקור מים חשוב לבעלי החיים במדבר (ראו: עמוד 45).
  - בסינתזת חלבונים מתחברות חומצות אמיניות אלו לאלו ליצירת שרשרת של חלבון. בתהליך זה משתחררת מולקולת מים מכל קשר שנוצר.

המים הם מרכיב עיקרי בסביבה בה מתרחשות הריאקציות הכימיות בתאים, גם כאשר מולקולות המים לא משתתפות בריאקציה.  
ריאקציות ביוכימיות בתא מבוססות על דיפוזיה של מולקולות לאתרים פעילים באנזימים.

ברמת הארגון של האורגניזם למים יש תפקידים נוספים:

**1. הובלת חומרים מומסים**

כושרם של המים להמיס חומרים מסייע להעביר חומרים מומסים ממקום למקום בתוך התא עצמו וגם בין חלקיו השונים של אורגניזם רב־תאי. באורגניזמים הרב־תאיים הגדולים והמפותחים מועברים חומרים ממקום למקום באמצעות מערכות הובלה. מערכת הדם היא דוגמה למערכת הובלה כזו שבה מועברים חמצן, נוגדנים, תוצרי העיכול וחומרי פסולת מומסים. בצמחים יש שתי מערכות הובלה הפועלות במקביל: מערכת להובלת מים ומינרלים מומסים שנקלטו מהקרקע, מהשורשים אל כל חלקי הצמח עד לצמרות העצים, ומערכת שנייה להובלת תוצרי הפוטוסינתזה כשהם מומסים במים, מהעלים אל חלקי הצמח האחרים.

**2. העברת תאי מין (גמטות)**

ישנם אורגניזמים החיים ביבשה, אך למרות זאת הם תלויים במים לרבייתם. לדוגמה: תאי מין זכריים של טחבים ושרכים, שהם צמחי יבשה פשוטים, הם בעלי שוטונים וזקוקים למים כדי להגיע אל תאי המין הנקביים ולהפרותם, אף כי הצמח עצמו חי ביבשה. דוגמה נוספת היא הצפרדע ודו־חיים אחרים. הצפרדע מטילה את ביציה במים וגם תאי הזרע מופרשים למים. ההפריה נעשית במים, והראשן הצעיר המתפתח מהביצית המופרית חי בתחילת חייו במים. אף כי הצפרדע הבוגרת יכולה לחיות ביבשה, היא תלויה בסביבה המימית לצורך רבייתה.



שרך (א) וטחבים (ב)

**3. שמירת היציבות בצמחים**

באיברים הצעירים של צמחים רב־שנתיים ושל צמחים חד־שנתיים התפתחות רקמות התמיכה מצומצמת יחסית, וזקיפותם תלויה במידה רבה במים הממלאים את החלולית (הווקואולה) התופסת חלק גדול מנפח התא. קל להבחין בחשיבות המים לשמירת יציבות הצמח, כאשר מתבוננים בצמחים שלא הושקו. צמחים אלו כמושים ונבולים. השקיייתם תשיב להם את צורתם הזקופה. בעיה זו אינה קיימת בעצים שרבים מחלקיהם הם קשיחים (מעוצים) וגם בעת מחסור במים הם נותרים עומדים זקופים. המחסור במים בעצים ניכר, אם כן, בעיקר בעלים ובענפים צעירים.



צמח זקוף וצמח כמוש

**המים הם גורם מגביל בסביבה היבשתית**

הסביבה היבשתית כשמה כן היא – יבֶשָה, ומשאב המים אינו זמין בכל עת ובכל מקום: יש עונות גשומות ויש עונות ללא גשם, ישנם בתי גידול שבהם יש שפע של מים וישנם בתי גידול צחיחים/מדבריים. בנוסף לכך האוויר, שהלחות בו נמוכה בדרך כלל, גורם להתאיידות רבה של מים משטח הפנים של האורגניזמים ולאיבוד מים. האורגניזמים החיים בסביבה יבשה מותאמים לתנאים של מחסור זמני או מתמשך במים.



**ביולוגיה של האדם:** מערכת ההובלה: מאין ולאן מועברים החמצן, תוצרי העיכול, הנוגדנים וחומרי הפסולת בגוף האדם?



**התא:** מבנים בתא הצמח - חלולית.

## ■ התאמות לחיים ביבשה

בצד המגוון הרב של התאמות למחסור במים, שמקצתן יתוארו בהמשך, יש שלוש התאמות משותפות לכל האורגניזמים החיים ביבשה:

רעיון מרכזי: ההתאמות המשותפות הן דוגמה לאחידות הקיימת בטבע.

### 1. כיסוי שטח הגוף במעטה אטום למים

הקוטיקולה של הצמחים, הכיטין של החרקים והעור של בעלי החיים מצמצמים התאדות מים משטח הגוף.

#### על מושגים: קוטיקולה וכיטין

**קוטיקולה:** שכבה של תרכובות שומניות שעוותיות המופרשת על ידי הדפנות של שכבת התאים החיצונית (אפידרמיס) המקיפה את החלקים העל-אדמתיים של הצמח (בעיקר עלים וגבעולים) ומכסה אותם.  
**כיטין:** רב-סוכר המכסה את גופם של חרקים ופטריות.

### 2. הגנה על האזורים שבהם מתרחשים חילופי הגזים

חילופי הגזים עם האוויר הם חלק מתהליך הנשימה (המתרחש בכל האורגניזמים האווירניים) ומתהליך הפוטוסינתזה (המתרחש בצמחים). **חילוף גזים** יכול להתרחש רק כאשר שטח הפנים של התאים הוא לח. ביונקים ובעלי חיים אחרים מבוצע חילוף הגזים הקשור בנשימה בריאות, והן ממוקמות בתוך גוף האורגניזם ומוגנות שם מהתייבשות. צינורות מיוחדים מקשרים בינן לבין האוויר החיצוני. בעלים של צמחים יש פתחים מיוחדים – **פיוניות** (איור ב-7) – שדרכן נקלט  $CO_2$  ונפלטים חמצן ואדי מים. מנגנון מיוחד סוגר את פתח הפיונית, כאשר הצמח נמצא במצב של מחסור במים וכך מגן על פנים העלה מהתייבשות. (ראו עוד בעמוד 42).



איור ב-7: פיונית פתוחה

### 3. רבייה שאינה תלויה במים

תאי המין – הזרע והביצית – אינם יכולים להתקיים בסביבה שאינה מימית.

#### כיצד מועברים תאי מין בין אורגניזמים ביבשה, וכיצד מתקיימת הפגישה ביניהם?



בצמחים (בין שהפרייתם עצמית ובין שהם מופרים בהפריה הדדית) מגיע גרגר האבקה, כשהוא מוגן היטב בעטיפה אטומה למים, מהאבקנים אל הצלקת בראש עמוד העלי. לאחר נביטת גרגר האבקה משמש אחד מגרעיניו להפריית הביצית החבויה היטב בעומק השחלה. בזוחלים, בעופות וביונקים ההפריה היא פנימית. תאי הזרע מוחדרים אל תוך גופה של הנקבה והם אינם חשופים למגע עם האוויר החיצוני היבש. בדרכים אלו המפגש בין תאי המין מתרחש במקום מוגן היטב מהתייבשות, מעין "סביבה מימית פנימית". לאחר ההפריה גם העובר מוגן מפני התייבשות. בצמחים הוא מוגן על ידי העטיפות של הזרע, בזוחלים ובעופות הוא נשמר בתוך ביצה שתוכה הוא תמיסה מימית, והקרומים והקליפה מאפשרים חילוף גזים, אך מקטינים סכנת התייבשות. ביונקים העובר מתפתח בתוך הסביבה המימית שברחם אמו.

לאחר שתיארנו את ההתאמות המאפיינות את כלל האורגניזמים החיים ביבשה, נתאר בנפרד התאמות של צמחים ושל בעלי חיים.

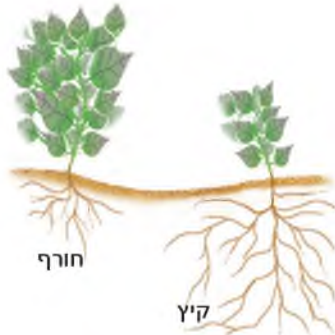


ביולוגיה של האדם: מערכת הנשימה.

למרות ההגנה על אברי הנשימה, מים אובדים דרכם (בצורת אדים) תוך כדי חילוף הגזים.

■ התאמות של צמחים לחיים בסביבה יבשה

הצמחים הם נייחים, אינם יכולים לזוז ממקומם ול"חפש" אחר מקורות מים. ההתאמות המתוארות בהמשך מסייעות לצמחים להגיע אל המים שבקרקע ולצמצם את איבוד המים בחלקיהם העל-קרקעיים.



איור ב-9: מערכת שורשים בצמח מדברי בקיץ ובחרוף



איור ב-8: יונקות (תירס)

התאמות של שורשים ועלים לסביבה יבשה

קליטת המים והמינרלים מהקרקע נעשית דרך השורשים. המים נקלטים בקצות השורשים שבהם מצויות שערות הקרויות **יונקות** (איור ב-8). היונקות דקות מאוד ושטח פניהן גדול מאוד יחסית לנפחן. כך מוגדל שטח הפנים הכללי של השורש. לצמחי מדבר יש לעתים מערכות שורשים עמוקות ומסועפות וכך מוגדל נפח הקרקע שממנו קולט הצמח מים. (איור ב-9).



שאלה ב-3 תשובה בעמוד מ-42

כאשר בודקים שורשי צמחים מוצאים שהיונקות נמצאות בעיקר בחלקים הצעירים והגדלים מהר בקצה השורש. מהו, לדעתכם, היתרון של מצב זה לצמח?



צמחים מאבדים את רוב המים הנקלטים בשורשים בהתאדות לסביבה בעיקר דרך הפיוניות שבעלים. כמות המים העוברת בצמח גדולה בהרבה מכמות המים שהצמח צורך לצמיחה ולשמירת יציבותו, לפעולותיו הכימיות ולהובלת החומרים (איור ב-10).

איור ב-10: כמויות מים שנפלטות בדיות יחסית למה שהצמח צורך

תלמידים רבים אינם ערים לעובדה שצמחים מאבדים את רוב המים שהם קולטים מהקרקע. עובדה זו מודגשת כאן באיורים ובנתונים כמותיים.



מעניין לדעת

בצמח התירס רק 1% מהמים שנקלטים על ידי הצמח נצרכים לבניין גופו, ואילו 99% עוברים דרך הצמח ומתנדפים לאוויר דרך הפיוניות.



מהי הסיבה לאיבוד הרב של המים בצמחים?



קליטת ה- $CO_2$  הדרוש לפוטוסינתזה נעשית דרך הפיוניות.  $CO_2$  נקלט כל עוד הפיוניות פתוחות, אך באותו זמן נפלים דרכן אדי מים רבים אל האוויר, שהלחות בו נמוכה יחסית ללחות שבתוך העלה. תהליך פליטת אדי מים מהעלה נקרא בשם **דיות** (טרנספירציה). כתוצאה ממצב זה תהליך הפוטוסינתזה מלווה באיבוד מים. היתרון של מבנה הפיונית ומנגנון פעולתה הוא שברוב הצמחים הפיוניות נסגרות בחושך, כאשר ממילא אין אור לביצוע פוטוסינתזה, וכך נמנע איבוד מים מיותר.



פיונית פתוחה פיונית סגורה

יתר על כן, הפיוניות נסגרות לא רק בחושך, אלא גם במצב של מחסור במים בצמח. כאשר הפיוניות נסגרות אמנם אין איבוד מים, אך בה בשעה נמנעת גם כניסה של  $CO_2$  ושיעור הפוטוסינתזה קטן. בנוסף גם קטנה הובלת מים ומומסים מהשרוש לאזורים הצעירים, והצמיחה מעוכבת.

בצמחים מוכרות התאמות רבות של מבנה העלה המקטינות את איבוד המים. דוגמאות:

1. כיסוי קוטיקולה עבה. דוגמה: עלים של חרוב.
2. פיוניות שקועות או מכוסות בשערות, דוגמה: עלים של זית.
3. שטח עלים קטן ו/או השרת עלים בקיץ, דוגמה: רותם המדבר.
4. גלילת עלים, דוגמה: ידיד החולות (איור ב-11).
5. החלפת עלי חורף בעלי קיץ: עלי חורף גדולים ועלי קיץ קטנים. דוגמה: סירה קוצנית (איור ב-12), מרווה משולשת, לוטם שעיר ולוטם מרווני.

**?? תפיסות שגויות לגבי הקשר בין דיות לפוטוסינתזה:**

- רוב המים הנקלטים בצמח נחוצים לפוטוסינתזה (בעוד שרובם אובדים בדיות),
- הדיות גורמת לפוטוסינתזה (בעוד שהיא תוצאת לוואי של קליטת  $CO_2$ ).



איור ב-12: סירה קוצנית עם עלי חורף



ידיד החולות



**שאלה ב-4 תשובה בעמוד מ-43**

- א. "מבנה העלה הוא מעין פשרה בין ההתאמה לביצוע פוטוסינתזה לבין ההתאמה לשמירה על מאזן מים חיובי". הסבירו היגד זה.
- ב. הסבירו כיצד כל אחת מההתאמות שצוינו לעיל תורמת להקטנת איבוד המים.



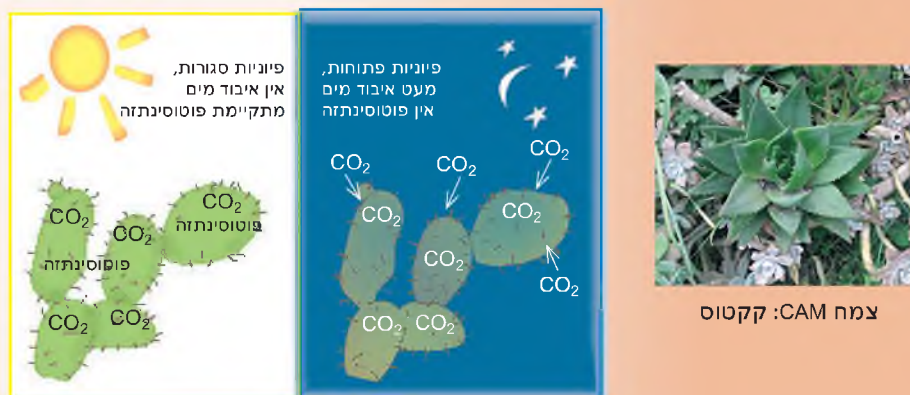
**ריבוי פנים של תופעות באקולוגיה:** כאשר הפיוניות פתוחות נקלט  $CO_2$  אך גם אובדים מים רבים. לאיבוד המים בדיות יש תפקיד חיוני בהובלת מים בצמח. להתאמות למחסור במים יש מחיר: הקטנה של שיעור הפוטוסינתזה.

**הרחבה: צמחי CAM – פוטוסינתזה עם פיוניות סגורות**

איבוד המים בדיות מושפע, בין השאר, מהתנאים הפיזיים בסביבה והוא מוגבר בשעות האור שבהן הטמפרטורה גבוהה והלחות נמוכה. הקטנת איבוד המים על ידי סגירת הפיוניות מביאה בעקבותיה גם להקטנת שיעור הפוטוסינתזה. בצמחי CAM התפתח מנגנון פיזיולוגי-ביוכימי הפועל בדרך הבאה: הפיוניות נפתחות בשעות הלילה, וה- $CO_2$  הנקלט דרכן בשעות אלה, נקשר בתהליך כימי ונשמר בתרכובת מיוחדת.

מקור השם CAM: המנגנון המתואר כאן נמצא במשפחות צמחים אחדות. בצמחים ממשפחת הטבוריתיים Crassulaceae הוא נפוץ יחסית ומכאן מקור השם: Crassulacean Acid Metabolism. ובראשי תיבות CAM.

בעת פתיחת הפיוניות בלילה אמנם מתאדים דרכן מים, אך כמות זו יותר קטנה מהכמות שהייתה מתאדה במשך היום (מדוע?). במשך היום, בשעות האור, הפיוניות אינן נפתחות, אך תהליך הפוטוסינתזה מתרחש בעזרת אור השמש ו- $CO_2$  שנקלט ונאגר בשעות הלילה (איור ב-13). צמחי CAM מותאמים לחיים בתנאי יובש ונפוצים יותר באזורים צחיחים.



איור ב-13: פוטוסינתזה בצמחי CAM

המונח חד-מחזורי (המוזכר בתכנית לנושא "מזרע לזרע") מתייחס לצמחים שרק פעם אחת במהלך חייהם הם פורחים ויוצרים פרות וזרעים. רוב הצמחים החד-מחזוריים הם חד-שנתיים ומחזור חייהם נמשך עונה אחת. אולם ישנם גם יוצאים מהכלל: צמחים רב-שנתיים שהם חד-מחזוריים. דוגמה לצמח כזה הוא צמח האגבה הרב-שנתי הפורח פעם אחת בלבד לאחר שנים רבות של גידול וצמיחה ללא פריחה כלל ובתום הפריחה הצמח נובל ומת. רוב הרב-שנתיים הם גם רב-מחזוריים.

**התאמה של מחזור החיים לסביבה יבשה**

מחזור חייו של צמח חד-שנתי מתחיל בזרע ומסתיים ביצירת דור חדש של זרעים והפצתם. מחזור חיים שבו נביטת הזרעים, הגידול, הפריחה והבשלת הפירות מתרחשים כולם בתקופת זמן שבה המים נמצאים בשפע, הוא התאמה לתנודה העונתית בזמינות המים. אפשר לראות באורח החיים של צמח חד-שנתי מעין "התחמקות" מהתמודדות עם המחסור במים בקיץ היבש. הזרעים עמידים מאוד ליובש ויכולים לעבור את תקופת הקיץ במצב תרדמה ולהתעורר ולנבט עם בוא הגשם. בצמחייה החד-שנתית בארץ בולטת התופעה של נביטה עם הגשם הראשון והשלמת מחזור החיים עד תחילת הקיץ.



שאלה ב-5 תשובה בעמוד מ-43

בדקו (במגדיר או במקור מידע אחר) מהי עונת הפריחה של חמישה צמחים חד-שנתיים ושל חמישה צמחים רב-שנתיים. רכזו את הממצאים שלכם ושל חבריכם בטבלה. מה ניתן להסיק לגבי הקשר בין מחזור החיים לבין זמינות המים?

ניתן לראות בהתאמה שבין מחזור החיים לבין זמינות המים מעין מקבילה להתאמה התנהגותית בבעלי חיים. אם כי כדי להימנע מהאנשה לא כוונה כך במפורש.

מחזור החיים הקצר של החד-שנתיים הוא דרך אחת להישרדות באזורים שבהם יש עונה יבשה. תופעה דומה קיימת גם בחלק מהצמחים הרב-שנתיים. בצמחים שהם בעלי בצל או פקעת או שורשים מעובים תת-קרקעיים – גיאופיטים, כגון: החצב, הכלנית והעירית, מתרחש עיקר הגידול בעונה הגשומה, ואת העונה היבשה עובר הצמח, כאשר כל חלקיו העל-קרקעיים יבשים ומתיים. רק איבר האגירה התת-קרקעי ובו ניצני התחדשות נשמר לעונה הבאה. הגידול מתחדש



בסתיו לקראת העונה הגשומה, כמו אצל החצב והסתונית ("מבשרי הסתיו") או לאחר תחילת הגשמים לדוגמה, כלנית, רקפת, נרקיס, עירית גדולה ועוד.

פריחת "מבשרי הסתיו" היא סימנה של עונת הגידול שהחלה בחורף הקודם.



גיאופיטים (מימין לשמאל): רקפת, סתונית, כלנית, חלמונית

### חוקרים אקולוגיה: "שעון גשם" בצמח ריסן נאכל

(מעובד מתוך: גוטרמן, י., ויצטום, א., אבן ארי, מ. (1969) שעוני גשם בריסן, מדע י"ג 276 – 281)

בריסן הנאכל, הגדל בנגב, קיימת מערכת מורכבת ומעניינת של הפצת זרעים. הזרעים נשמרים בפירות ורק לאחר שהפירות נפתחו הם מתפזרים. מערכת זו קשורה בשלושה מודדי גשם או "שעוני גשם" המפעילים את מערכת ההפצה של הזרעים רק לאחר שירדה לפחות כמות גשם מינימלית. על פעולתו של אחד מ"שעוני הגשם" ניתן ללמוד מהתוצאות בטבלה:

זמן ההשריה של הפירות במים (בדקות)					
180	60	40	20	10	5
52	52	36	8	2	0

**אחוז הפירות שהתפוצצו ופיזרו זרעים**

מחצית הלקט



פרי פתוח



פרי בתחילת פתיחה



פרי במצב סגור



ריסן

שאלה ב-6 תשובה בעמוד מ-43

א. סרטטו עקום של התוצאות.

ב. מה ניתן להסיק מהממצאים?

ג. מהו היתרון שמקנה קיומו של "שעון הגשם" בצמחי מדבר? הסבירו.

**עוד על**  
**השקיה ושימוש במי קולחין**  
 ראו בפרק ז.

**בעין חקלאית: המים כגורם מגביל בחקלאות**



צמחי החקלאות המהווים מרכיב חשוב במזונותינו זקוקים למים רבים לגידולם. לכן זמינות משאב המים היא גורם מגביל חשוב בחקלאות. בישראל שמקורות המים שלה מצומצמים, לא תמיד ניתן להשקות את השדה או המטע בכמויות המים הנדרשות ויש שמסתמכים רק על מי הגשמים. חקלאות הנשענת על מי הגשמים בלבד נקראת **חקלאות בעל**. מקור השם הוא שמו של אֵל הגשם הכנעני: "בעל". שבעת המינים – חיטה, שעורה, גפן, תמר, רימון, תאנה וזית – הם מינים שניתן לגדלם בארץ בתנאי בעל (לפחות 200 מ"מ גשם בשנה). בארץ נהוג לגדל ללא השקיה שדות של חיטה ושעורה בנגב הצפוני ומטעי זיתים בגליל התחתון. החקלאות המתבססת על מים ש"נשלחים" אל שטחי החקלאות בתעלות ובצינורות מכונה **חקלאות שלחין**. בארץ מטעי הפירות, גידולי קיץ, למשל ירקות וכותנה הן דוגמאות לחקלאות שלחין.



**■ התאמות של בעלי חיים לסביבה יבשה**

בקרב בעלי חיים מידת הנגישות למי שתייה בבתי גידול יבשתיים היא לעתים בעיה עיקרית. כמות המים הזמינים משתנה עם העונות ומשנה לשנה, ולעתים יש להרחיק לכת כדי למצוא מקור מים. מקורות המים והדרכים לאיבוד מים בבעלי חיים מסוכמים בטבלה ב-2.



טבלה ב-2: מקורות למים ודרכים לאיבוד מים בבעלי חיים

מקורות למים	דרכים לאיבוד מים
שתייה	התאדות משטח הגוף
מזון: פירות וחלקי צמח אחרים, בשר	התאדות מאיברי הנשימה
תוצרי חימצון (מים מטבוליים)	הפרשת מים בצואה ובשתן

פיל ליד מקור מים

**הרחבה: ניצול מים מטבוליים**

המים המטבוליים הם מקור מים חשוב למכרסמים מדבריים, למשל ירבע ופסמון, שמזונם כולל בעיקר זרעים יבשים.

בעת חמצון חומרים אורגניים מהמזון (טבלה ב-3), כפי שהדבר קורה בנשימה התאית, נקשר חמצן למימן ונוצרים מים. אלו הם **מים מטבוליים**.



טבלה ב-3: כמות המים המופקת בעת חמצון 1 גרם של חומר אורגני

סוג החומר	כמות המים (גר')
עמילן	0.56
שומן	1.07
חלבון	0.39



פסמון: יונק מדברי שאינו שותה

**עוד על**  
**חמצון-חיזור ראו בנספח**  
 מושגי יסוד.

כמות המים הגדולה יחסית המתקבלת מחמצון שומן נובעת מריבוי אטומי המימן (יחסית לאטומי הפחמן) בכל מולקולת שומן. המימנים המתקבלים עקב החמצון נקשרים לחמצן ונוצרים מים.



בבעלי חיים, כמו בצמחים, נמצא סוגים שונים של התאמות התורמות להקטנת איבוד המים.

### חיים במקומות מוצלים ולחים

איבוד מים משטח פני הגוף כתוצאה מהתאדות עלול לגרום בעיה רצינית אצל אותם האורגניזמים שעור גופם החיצוני הוא לח וחסר מעטה הגנה, כמו עורם של השלשול או הצפרדע. כמות המים המתאדה דרך שטח פני הגוף היא גדולה ביותר ומגיעה אצל השלשול ל-0.4 מיליגרם (מיליגרם = אלפית של גרם) של מים בשעה לכל סמ"ר של שטח הפנים ואצל הצפרדע ל-0.3 מיליגרם בשעה לכל סמ"ר (להשוואה: אדם שאינו מזיע, מאבד בשעה רק 0.048 מיליגרם של מים לכל סמ"ר של שטח הגוף).

אצל השלשול והצפרדע מצטמצם איבוד המים הודות לכך שהם חיים במקומות מוצלים ולחים שאינם חשופים לשמש: בתוך הקרקע או בסבך הצמחייה ליד מקווי מים.



### ספיגה חוזרת של מים במעי ובכליה

חלק גדול מהמים העוברים במערכת העיכול של בעלי החיים אינם מופרשים עם הצואה אלא נספגים דרך המעי אל הדם. בנוסף על כך מקצת המים המסתננים בכליה נספגים בגוף ואינם מופרשים בשתן.

יונקים ועופות מסוגלים לייצר שתן שריכוז המלחים בו גבוה מזה שבפלסמת הדם. השתן המרוכז נוצר בעקבות קליטה חוזרת של מים בנפרונים שבכליה, באזור האבובית והם אינם אובדים בשתן. מחקרים הראו שיש קשר בין רוחבו של אזור הליבה בכליה, שבו נמצאות האבוביות לבין סביבת החיים: אצל יונקים בסביבות צחיחות אזור הליבה בכליה רחב יותר ויש באופן יחסי יותר אבוביות ארוכות מאשר אצל יונקים החיים בסביבות לא צחיחות, ולכן כמות המים הנקלטת אצלם בחזרה גדולה יותר מאשר אצל יונקים בסביבות אחרות.

### הפרשת פסולת חנקנית מוצקת

בשתן של בעלי חיים מופרשת גם פסולת חנקנית המומסת בו, כגון שתן, אך הפרשת שתן מרובה פירושה גם איבוד מים רב.

בחרקים, בזוחלים ובציפורים מופרשים חומרי הפסולת החנקנית לא כשתן מומס במים, אלא כחומצת שתן שאינה מסיסה במים, ולכן הפרשתה אינה מלווה באיבוד מים.

הפרשת פסולת חנקן בצורה של חומצת שתן בלתי מסיסה היא, אם כך, התאמה התורמת לצמצום הפרשת מים על ידי האורגניזם.

מעניין לדעת



אדם מאבד כ-200 מ"ל מים בהזעה ביום רגיל.

## התאמות לחיים בסביבה מימית

### ■ המים כסביבת חיים

המים באוקיינוסים, באגמים ובנחלים מהווים בית גידול לאורגניזמים שונים למשך כל תקופת חייהם. המים מהווים סביבת חיים נוחה ביותר:

1. אין סכנת התייבשות לתאים.



ביולוגיה של האדם: מערכת ההפרשה.

האבוביות שבנפרונים נקראות לולאות הנלה (על שם המדען שגילה אותן). אורך הלולאות נאמד על פי עובי שכבת הליבה (medulla) בכליה. ככל שהשכבה עבה יותר הלולאות ארוכות יותר. האורך של לולאות הנלה הוא דוגמה להתאמה של מבנה שהיא גם התאמה פיזיולוגית. עוד דוגמה לחפיפה בין טיפוס ההתאמות שצוינה בפרק א.

הפרשת פסולת חנקנית היא בעיה עבור הטורפים שעיקר מזונם הוא בשר עשיר בחלבון ולכן הפסולת החנקנית רבה יותר.

אבולוציה: העובדה שמים הם סביבת חיים נוחה תומכת בהשערה שחיים החלו להתפתח במים. עוד על ראשית החיים בספר התא: עמודים 187-188.



מדוזה

2. אין שינויים קיצוניים בטמפרטורה בין היום לבין הלילה וכן בין עונות השנה.
3. יש חומרים מומסים רבים החיוניים לחיי האורגניזמים במים.
4. יש תמיכה פיזית מספקת לאורגניזמים החיים במים, ויכולים לחיות בהם גם אורגניזמים שהם חסרי שלד פנימי או חיצוני, כמו המדוזה, ההידרה או אצות, למשל חסת הים.
5. יש זרמים המקלים על תנועת אורגניזמים וגמטות (תאי מין), והם יכולים להיסחף ממקום למקום בלי להשקיע אנרגיה רבה.

### ■ התאמות של בעלי חיים לסביבה מימית

על אף שהמים הם סביבת חיים נוחה, הם מציבים בפני האורגניזמים כמה מגבלות והן:

1. הקושי לנוע במים באופן פעיל (לא להיסחף)
2. ויסות מאזן המים והמלחים בגוף
3. מסיסות נמוכה של חמצן
4. טמפרטורה נמוכה מאוד של המים באזורי הקטבים ובעומק הים.

מקצת מההתאמות המיוחדות למגבלות אלה נתאר להלן.

### התאמת מבנה הגוף לתנועה במים

אמנם זרמי המים מאפשרים סחיפה ומקלים בכך על תנועה פסיבית של אורגניזמים במים, אך המים צמיגים יותר מהאוויר, ולכן קשה יותר לשחות ולהתקדם בהם מאשר באוויר החופשי. תנועה מהירה במים מתאפשרת באורגניזמים שמבנה גופם מותאם לחיים בסביבה זו: גופם של הדגים ושל היונקים החיים במים הוא חלק, וצורתו תורמת להקטנת החיכוך וכתוצאה מכך להקטנת ההתנגדות לתנועה במים. קרומי השחייה האופייניים לעופות המים ומבנה הגפיים ביונקים, מקלים גם הם על השחייה והתנועה במים (איור ב-14).



איור ב-14: התאמה לתנועה במים: כלב ים ושקנאי (גלאפגוס)

### מעניין לדעת: מי מתקדם מהר יותר – זה הרץ באוויר או זה השוחה במים?

שיא העולם ב־100 מטר ריצה הוא כ־10 שניות ושיא העולם ב־100 מטר שחייה בסגנון חופשי הוא כ־50 שניות!

### ויסות מאזן המים והמלחים בגוף

אמנם החיים במים מונעים את סכנת ההתייבשות, אך "אין טוב בלי רע". במים מתוקים (מים שריכוז המלחים בהם נמוך) ריכוז המלחים בתוך האורגניזם גבוה מריכוז המלחים בסביבה המימית, ולכן מתרחשת אוסמוזה של המים מהסביבה אל תוך האורגניזם. תופעה זו מתרחשת הן באורגניזם חד־תאי, כמו הסנדלית, והן באורגניזמים רב־תאיים, כמו סרטנים, רכיכות ודגים למיניהם.

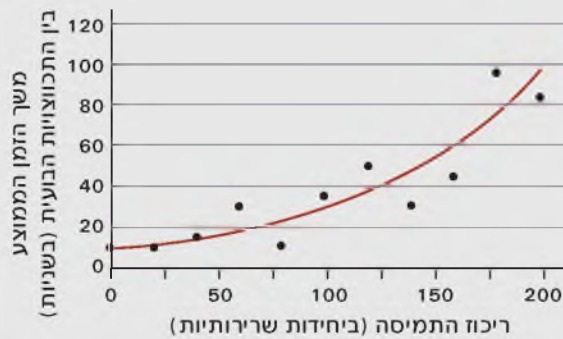


**כיצד מתמודדים האורגניזמים עם עודפי המים?**

באורגניזמים שונים התפתחו במהלך האבולוציה מנגנונים ואיברים להתמודדות עם עודפי המים. בסנדלית החד-תאית (איור ב-15) יש בועית מתכווצת המתמלאת מפעם לפעם מים ומתרוקנת במחזוריות, וכך מסולקים עודפי המים.

כאן אפשר לשאול: איך אצות חד-תאיות "מסתדרות" בלי בועית מתכווצת? [והתשובה: הדופן הקשיחה של האצות מגבילה את כמות המים הנכנסת לתא.]

**חוקרים אקולוגיה: הפרשת עודפי מים בסנדלית**



**איור ב-16:** משך הזמן הממוצע העובר בין התכווצויות הבועית המתכווצת בתלות בריכוז התמיסה

במחקר שבדק את השפעת ריכוז המומסים בתמיסה על קצב הפעילות של הבועית המתכווצת בסנדלית הוכנסו סנדליות לתמיסות בריכוזים שונים ונמדד משך הזמן העובר בין התכווצות אחת של הבועית להתכווצות הבאה אחריה. התקבלו התוצאות המוצגות באיור ב-16.



**איור ב-15:** סנדלית (יצור חד-תאי) עם בועית מתכווצת

תשובה בעמוד מ-44

שאלה ב-7



הסבירו את הקשר בין משך הזמן העובר בין התכווצויות הבועית המתכווצת לבין ריכוז התמיסה.

באורגניזמים רב-תאיים יש מערכות הפרשה המסלקות עודפי מים. יחד עם המים העודפים מסולקים גם חומרי פסולת שונים המומסים בהם. הכליות אצל בעלי חוליות הן חלק ממערכת ההפרשה המסייעת בסילוק עודפי מים בבתי גידול של מים מתוקים וגם בסילוק עודפי מלחים. הכליות אם כך, הן איבר הומאוסטטי המווסת את כמות המים והמלחים בגוף.



ביולוגיה של האדם:  
מערכת הפרשה.



**ומה קורה לאורגניזמים החיים בסביבה של מים מלוחים?**

בבתי גידול של מים מלוחים, כמו באוקיינוסים, בימים או באגמים מלוחים, יש לאורגניזמים שתי בעיות:

- איבוד מים מהאורגניזמים לסביבתם (מדוע?)
  - הצטברות מלחים בגוף כתוצאה מדיפוזיה של המלחים ממקום ריכוזם הגבוה - מי הים - למקום שבו ריכוזם נמוך יותר - פנים האורגניזם.
- מלחים שונים אמנם הכרחיים לפעולתו התקינה של האורגניזם, אך הצטברותם בכמות רבה עלולה לפגוע בפעולת התאים. הנזק שעלול להיגרם הוא כפול: מצד אחד עלולים התא והאברונים שבתוכו לאבד מים באוסמוזה, ופעילותם תיפגע, ומצד אחר למלחים עצמם עלולה להיות השפעה שלילית ולעתים רעילה על התהליכים בתא.

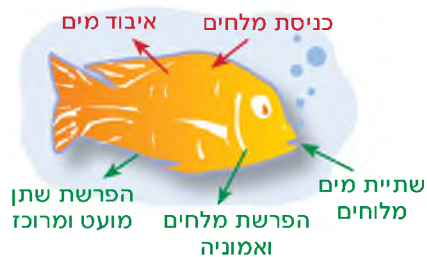
כדי להבין כיצד מתמודד אורגניזם החי בים עם שתי הבעיות האלה נבדוק מה קורה אצל הדג: ריכוז המלחים בתוך גוף הדג נמוך מריכוזם במי הים. כתוצאה מכך: (א) נכנסים מלחים אל גוף הדג עם המים והמזון, ובדיפוזיה – בשטח הפנים (ב) הוא מאבד מים דרך שטח גופו.

שלושה מנגנונים מסייעים לדג בשמירת מאזן המים והמלחים (איור ב-17):

1. שתייה רבה

2. הפרשת עודפי מלחים ואמוניה (פסולת חנקנית) באמצעות תאים מיוחדים בזימים

3. הפרשת כמות קטנה בלבד של שתן.



איור ב-17: מאזן המים והמלחים בדג בים (הסבר בטקסט)

כאן אפשר לשאול – ומה קורה בדג במים מתוקים? [והתשובה – במים מתוקים הדגים מאבדים מלחים לסביבה. הקולטים מים בעודף מהסביבה. המנגנונים המסייעים לשמירת ההומיאוסטאזיס הם: קליטת מלחים בקליטה אקטיבית דרך הזימים והפרשת שתן מאוד מהול, שבתהליך יצירתו נקלטו מלחים חזרה לדם].

ראו גם: מערכות ותהליכים עמוד 166.

### רעיון מרכזי: הומאוסטאזיס

שמירה על מאזן המים נעשית בד בבד ובצמידות לשמירה על מאזן המלחים. המנגנונים הקיימים בבעלי חיים החיים בים, וגם באלו החיים ביבשה, פועלים לוווסות מאזן המים והמלחים ולשמירה עליהם גם יחד. בעזרת מנגנונים אלה מתקיים ההומאוסטאזיס, כלומר: נשמרת סביבה פנימית יציבה פחות או יותר, על אף השינויים בסביבה החיצונית.

שאלה ב-8 תשובה בעמוד מ-44



מיינו את ההתאמות לזמינות המים בסביבה ולשמירה עליהם בבעלי חיים לסוגיהן: התאמות מבנה, התאמות התנהגותיות והתאמות פיזיולוגיות ביוכימיות.

### ■ התאמות של צמחים לחיים במים

המאפיינים הבולטים של הצמחייה בבתי הגידול המימיים הם היעדר של עצים ושיחים וריבוי של אצות (צמחים פשוטים החיים כשהם טבולים במים). צמחים בעלי גבעולים, עלים ופרחים, שכל גופם טבול במים או שרק חלק מגופם טבול במים ועליהם חשופים לאוויר, נמצאים בעיקר בשוליים של בתי הגידול המימיים, במקום שבו יש להם קרקע להיאחז בה ועליהם חשופים לאור השמש. צמחי מים, כמו האלודיאה, הטבולים לגמרי במים יכולים לגדול במים צלולים שעומקם מגיע עד לכ־10 מטרים. התאמות המבנה האופייניות לצמחים הגדלים כשהם טבולים במים הן אלה:

- רקמות התמיכה וההובלה מצומצמות
- בגבעולים ובפטרות העלים יש חללי אוויר
- שכבת הקוטיקולה שעל פני העלים דקה מאוד
- העלים דקים, חסרי פיוניות ולעתים הם גזורים לאונות רבות.

מכלול ההתאמות האלה מקנה לצמחי מים יתרונות בניצול האור המועט שבמים, הגברת היעילות של חילופי הגזים וקליטת המינרלים. המבנה הגזור של העלים מקנה עמידות בפני קריעת עלים וניתוקם כתוצאה מזרמי מים חזקים.



אלודיאה



איור ב-18: יקינטון המים (בצד ימין רקמות אורור בפטוטרות)

בפטוטרות של יקינטון המים (איור ב-18) יש רקמות אורור המסייעות לציפה ומהוות מקום לאחסון חמצן פוטוסינתטי.

### הרחבה: מנגרובים

יערות המנגרובים גדלים בעיקר באזורים טרופיים במקומות שהנהרות הגדולים נשפכים אל האוקיינוסים ומים מלוחים מתערבבים במים מתוקים. קבוצות עצי המנגרובים מכונות "יערות הים". ייחודם של עצי המנגרובים הוא ביכולתם להתקיים במי ים מלוחים. בעצים אלו קיימים שני מנגנונים לסילוק עודפי המלח:

1. סינון-על: המלחים, החדרים עם מי הים אל העץ דרך מערכת שורשיו, נתקלים בשורה של קרומים מיוחדים, המונעים את כניסת המלחים פנימה.
2. בלוטות מיוחדות המצויות על פני העלים גורמות למלח להצטבר בגבישים קטנים. גבישי מלח אלה נשטפים מן העלים ומורחקים על ידי מי הים והרוחות.

## ב3. אור: מקור אנרגיה לפוטוסינתזה ואות סביבתי

אור השמש הוא מקור האנרגיה הראשוני ליצירת חומרים אורגניים בתהליך הפוטוסינתזה. בטבלה ב-4 מתוארים סוגי הקרינה מהשמש והשפעתם על המערכת האקולוגית.

טבלה ב-4: סוגי קרינה מהשמש והשפעתם

סוג הקרינה	טווח אורכי הגל (ננומטר*)	אחוז מכלל הקרינה	השפעות על אורגניזמים ועל המערכות האקולוגיות
על-סגולה (UV)	300-3	10%	מסייעת ליצירת ויטמין D בעור, עלולה לגרום לסרטן עור ולעכירות עדשת העין (קטרקט). מסייעת ליצירת אוזון.
אור נראה	400-700	44%	מקור אנרגיה לפוטוסינתזה, אות סביבתי לתהליכי התפתחות באורגניזמים.
תת-אדומה	700-3000	45%	חימום האטמוספירה, הנעת מחזור המים.

\* ננומטר = 0.0000001 סנטימטר

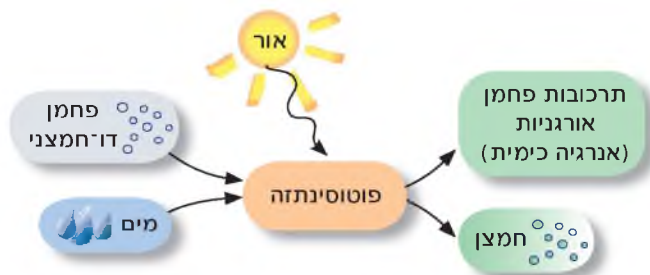
אמנם רק חלק קטן מאוד (כ-1%-2%) מקרינת האור הנראה מומר לאנרגיה כימית בתהליך הפוטוסינתזה, אך כידוע זהו התהליך העיקרי המספק תרכובות אורגניות (מזון) וחמצן לאורגניזמים (איור ב-19). לפיכך, האור מהווה את מקור האנרגיה הבלעדי של רוב המערכות האקולוגיות על פני כדור הארץ. גם משאבי הדלק של החברה התעשייתית המודרנית – הנפט, הפחם והגז – הם תוצרים ישירים ועקיפים של הפוטוסינתזה בעידנים קדומים.



ביולוגיה של האדם:  
השפעת קרינת UV על האדם.



תא: תהליך הפוטוסינתזה  
כתהליך המרת אנרגיית אור לאנרגיה כימית.



איור ב-19: סכמה של תהליך הפוטוסינתזה: מפחמן דו־חמצני ומים מתקבלים חומר אורגני וחמצן.

ההתאמות לקליטת אור הן ברמות הארגון של **התאים** – מבנה הכלורופלסטים וארגונם בתא, **האיברים** – העלים, **האורגניזמים** – סידור העלים בצמח ו**המערכת** – ארגון הצמחים ביער.

## התאמות של צמחים לקליטה מרבית של אור

כאשר מתבוננים בצורות השונות של העלים ובסידורם בצמח, אפשר ללמוד על ההתאמה בין מבנה העלה והצמח לקליטה מרבית של אנרגיית אור.



**כיצד מותאם מבנה הצמח לקליטה מרבית של אור הדרוש לפוטוסינתזה?**

נתבונן תחילה בצורות העלים, האיבר העיקרי שבו מבוצעת הפוטוסינתזה.

צורות שונות של עלים



איור ב-20: צמח בעל שושנת עלים (ימין), ארגון עלים בקיסוס (שמאל)

אחת התכונות המאפיינות עלים רבים היא השטח הרחב שלהם יחסית לנפחם. תכונה זו מהווה התאמה לקליטת אור. לא רק צורת העלה והיחס בין שטח הפנים לנפחו מסייעים להגברת יעילות קליטת האור. תורם לכך גם ארגון העלים על פני הצמח. כשנתבונן בצמח בעל שושנת עלים מלמעלה ובצמח הקיסוס, נוכל להבחין בארגון מיוחד של העלים (איור ב-20).

קל לראות כי ארגון העלים בשושנת העלים ובקיסוס מקטין הסתרת עלה אחד על ידי עלה סמוך לו (הצללה הדדית). סידור זה מאפשר קליטה מרבית של אור על ידי כל העלים. סידור עלים מנוגד או לסירוגין על הגבעול גם הוא מקטין את הסתרת האור.

לא רק הצמח היחיד מותאם לקליטת אור. התאמות לקליטת אור נוכל למצוא גם כאשר נבחן את ארגון חברת הצמחים ביער. ביער עבות הצמחים גדלים בצפיפות רבה ומסתירים זה לזה מקצת האור או אף את רובו. אפשר לומר שהם מתחרים זה בזה על קרינת האור. למרות התחרות על האור מהווה היער בית גידול נוח לצמחים רבים.



### כיצד מותאמים הצמחים לחיים בתנאי תחרות על האור?

- להלן כמה התאמות של צמחים (שיחים ועשבים) הגדלים בין עצים גבוהים ביער צפוף:
- צמצום מחזור החיים של חד-שנתיים ושל גיאופיטים לתקופה שבה העצים הגבוהים עומדים בשלכת.
  - התאמת מבנה העלים והתאמות פיזיולוגיות-ביוכימית של המנגנון הפוטוסינתטי לפעילות גם בעצמות אור נמוכות (צמחי צל). בצמחים הגדלים בצל ניתן להבחין בכמה התאמות: שטח העלים רחב יחסית לנפח, העלים מאורגנים בצורה אופקית (ניצבים לכיוון הקרינה), והכלורופלסטים שבתאים מרוכזים במישור ניצב לקרינה. יתרה מכך בצמחי צל הכלורופלסטים רבים יותר והם גדולים יחסית.
  - יכולת של צמחים לטפס על העצים וכך להיחשף לאור.



קיסוס מטפס על עץ

### שאלה ב-9 תשובה בעמוד מ-44

בעמוד 42 תוארו התאמות של עלים למצב של מחסור במים. מהי לדעתכם ההשפעה של התאמות אלה על כמות האור הנקלטת על ידי העלה ועל הפוטוסינתזה?

### מעניין לדעת: אין טוב בלי רע

אור רב מדי יכול לגרום נזק של ממש לתהליך הפוטוסינתזה. ידועים היום מנגנונים פיזיולוגיים-ביוכימיים המגינים על תאי הצמח מפני נזקים כאלה.

### אור בסביבת חיים מימית

פני המים בבתי הגידול המימיים חשופים לאור ולתנודות בזמינותו ובעצמתו על פי שעות היממה ועונות השנה. כמו בבתי הגידול היבשתיים, חשיבותו העיקרית של משאב האור בבתי הגידול המימיים היא בהיותו מקור אנרגיה לתהליך הפוטוסינתזה של חיידקים פוטוסינתטיים ושל אצות.

אולם האור אינו זמין במידה שווה בכל הנפח של בית הגידול; עצמת האור והרכבו (אורכי הגל) משתנים עם העומק ועם מידת העכירות של המים. מי הים והאגמים נראים לנו שקופים וצלולים, אך למעשה גם במים צלולים בעומק של יותר מ-100 מטרים כמות אנרגיית האור אינה מספיקת לפוטוסינתזה. באגמים שבהם יש צמחייה צפה ואצות מיקרוסקופיות ובמקווי מים שבהם המים עכורים, כבר בעומק של מטרים ספורים אין עצמת האור מספיקה לתהליך הפוטוסינתזה (האור הוא גורם מגביל). התוצאה ממצב זה היא שגם זמינות החמצן הדרוש לצרכנים למיניהם קטנה בהדרגה ככל שיורדים לעומק.

כאמור, גם הרכב האור (אורכי הגל) משתנה ככל שמעמיקים במים. כבר בשכבות העליונות של המים נבלע רוב האור המתאים לפוטוסינתזה, על ידי יצורים פוטוסינתטיים (צומח צף ואצות מיקרוסקופיות) החיים קרוב יותר לפני המים. לעומק הים חודרים בעיקר אורכי הגל בתחום האור הירוק, ושם ניתן למצוא אצות שצבען חום או אדום המכילות, בנוסף לכלורופיל, פיגמנטים אחרים הקולטים אור ירוק. אנרגיית האור הנקלטת בפיגמנטים אלה משמשת את האצות לביצוע הפוטוסינתזה.

בעבר שיערו שיש קשר הדוק בין הפיגמנטים באצות לבין מיקומן בעומק הים. מחקרים נוספים הראו שהקשר הזה אינו מתקיים בכל המקרים. ראו גם הערה בעמוד מ-26.

### האור כאות סביבתי

חוץ מחשיבותו הרבה של האור כמקור אנרגיה לתהליך הפוטוסינתזה, יש לו גם השפעות אחרות על צמחים ועל בעלי חיים.

אנחנו חיים בסביבה שבה במהלך יממה מתחלפות תקופות של אור – יום – בתקופות של חושך – לילה. בעונות השנה משתנה אורך היום ואורך הלילה. באזורי הקוטב שוררת בחורף חשכה במשך חודשים ארוכים, ולעומת זאת, בקיץ יש חודשים רצופים של אור. לחילופין אלה בין אור לחושך, הן במהלך יממה אחת והן במשך השנה כולה, יש השפעות רבות על חייהם של כל האורגניזמים. דוגמאות להשפעות אלה ולהשפעות אחרות של אור מובאות בטבלה ב-5.

טבלה ב-5: השפעות של אור על אורגניזמים

האורגניזם	התהליך	דוגמה להשפעת האור
חד-תאיים	תנועה	תנועה אל האור או התרחקות ממנו.
צמחים	נביטה	ישנם זרעים שנובטים רק באור (דוגמאות: צלף, סתונית, חסה, נר הלילה).
	צמיחה	עלים וגבעולים צומחים בכיוון אל האור. שורשים צומחים בכיוון מנוגד לכיוון האור.
	התפתחות כלורופיל	האור דרוש להתפתחות כלורופיל וצמחים הגדלים בחושך הם לבנים.
	פריחה	מועדי הפריחה נקבעים על פי אורך היום (משך הלילה).
בעלי חיים	שליכת והתעוררות מתרדמת חורף (לבלוב).	ישנם צמחים שעליהם נושרים בסתיו כתגובה להתקצרות היום. היחס בין שעות האור ובין שעות החושך מביא להתעוררות ניצנים באביב.
	רבייה	תנועה אל האור או התרחקות ממנו. • האור מזרז את ההתבגרות המינית בתרנגולות. • האור משפיע על רמות ההורמונים הקשורים להתנהגות חיזור. • מועדי הביוץ והייחום מושפעים מאורך היום.
	נדידה	מועד היציאה לנדידה נקבע לפי אורך היום.



עצים בשלכת (ארה"ב)



ייחום וביוץ ראו בפרק ז.

טבלה ב-5: תנועה לפי כיוון האור – פוטוטקסיס; צמיחה לפי כיוון האור – פוטוטרופיזם.

בצמחים הפיגמנט פיטוכרום הוא המנגנון העיקרי לזיהוי אורך היום. בבעלי חיים – התגובה לאורך היום מתווכת על ידי הורמונים.

#### על מושגים: פוטופריודיות

תגובות של בעלי חיים ושל צמחים למחזוריות היומית של אור וחושך. בצמחים השפעת המחזוריות של אור וחושך היא על מועד הפריחה, השליכת והתעוררות מתרדמת החורף (הלבלוב).

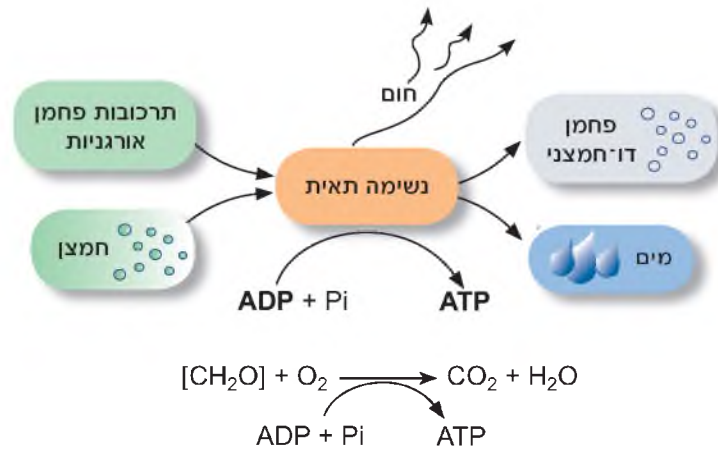
בבעלי חיים המחזוריות משפיעה על מועד הרבייה ועל ההתנהגויות הקשורות בה. היכולת להגיב למחזוריות של אור וחושך תלויה בקיומו של מנגנון חישה שמגיב לאור.

## 4. חמצן: נחוץ להפקת אנרגיה בתאים

באטמוספירה של כדור הארץ יש כ-20% חמצן שמקורו בתהליך הפוטוסינתזה המבוצע על ידי צמחים, אצות ירוקות וחיידקים מסוימים.

חוקרים משערים שבראשית ימיו של כדור הארץ הייתה האטמוספירה חסרת חמצן לחלוטין, או שכמותו הייתה קטנה מאוד בהשוואה למצב כיום. התפתחות תהליך הפוטוסינתזה, שבמהלכו מפורקות מולקולות של מים ונוצר ומשתחרר חמצן, תרמה ותורמת גם כיום את החמצן הדרוש לנשימה של כל האורגניזמים האווירניים.

בעזרת החמצן מחומצנות התרכובות האורגניות (למשל: סוכר) בתא בתהליך הנשימה התאית, ומופק ATP המשמש כמקור זמין של אנרגיה כימית לפעולות החיים של התא. בהכללה רבה אפשר לסכם את תהליך הנשימה התאית בצורה הבאה (איור ב-21):



איור ב-21: סכמה ונוסחה של תהליך הנשימה התאית

תפיסה שגויה 9 ראו  
טבלה בעמוד מ-10.



התא: הנשימה התאית  
כתהליך אנזימטי  
רב-שלבי, שבו מופקת  
אנרגיה כימית.



ATP ראו בנוספת מושגי יסוד.

### שימו לב:

בגלל חשיבותו הרבה של החמצן לחיים יש הסבורים בטעות, כי החמצן עצמו הוא מקור האנרגיה לכל פעולות החיים. התבוננות בנוסחה לעיל מבהירה, כי החמצן משתתף בתהליך הפקת ה-ATP.

תפיסה שגויה 8 ראו  
טבלה בעמוד מ-10.



ללא שכבת האוזון נצטרך להסתתר מקרני השמש (על פי כרזה של ארגון לשמירה על איכות הסביבה)

### מעניין לדעת: משהו על חמצן, אוזון וקרינה

להצטברות החמצן, תוצר הפוטוסינתזה, באטמוספירה הייתה השפעה חשובה על התפתחות החיים על פני כדור הארץ. הקרינה העל-סגולה (קרינת UV) המגיעה אף היא מהשמש פועלת על מולקולות החמצן שבאטמוספירה ויוצרת את שכבת האוזון (אוזון: מולקולה בעלת שלושה אטומי חמצן - O<sub>3</sub>). שכבת האוזון בולעת חלק מהקרינה העל-סגולה המזיקה ומונעת ממנה להגיע לכדור הארץ. היווצרות שכבת האוזון בגובה האטמוספירה אפשרה התפתחות של חיים ביבשה. לפני כן החיים היו, כנראה, קיימים רק בעומק מסוים במים. **דלדול שכבת האוזון** בהשפעת זיהום סביבתי מגדילה את כמות הקרינה העל-סגולה המגיעה לכדור הארץ.

### חמצן כגורם מגביל בסביבת חיים מימית

בסביבות החיים המימיות החמצן הוא גורם מגביל משמעותי: הוא נפוץ הרבה פחות מאשר באטמוספירה בשל מסיסותו הנמוכה במים: כ־6 מ"ל של חמצן נמסים בכל ליטר של מים. כלומר: ריכוז החמצן במים קטן פי 30 מריכוזו באוויר (שהוא כ־20%). יתרה מכך, ריכוז החמצן במים הולך ויורד עם הירידה לשכבות עמוקות יותר, וריכוזו גם יורד עם עליית הטמפרטורה (טבלה ב-6).

טבלה ב-6: תלות מסיסות החמצן בטמפרטורת המים

טמפרטורה (°C)					מסיסות חמצן במים מתוקים (מ"ל חמצן / ליטר מים)
30	20	15	10	1	
5.6	6.6	7.2	8.0	10.3	

השפעה הדדית בין גורמים א־ביוטיים במים: חמצן - אור - טמפרטורה.

תשובה בעמוד מ-44

שאלה ב-10



- א. מהי ההשלכה של התלות בין מסיסות החמצן לבין טמפרטורת המים לגבי ריכוז החמצן במים בעונות השנה השונות?  
 ב. כיצד עשויה תלות זו להשפיע על האוכלוסיות בסביבת חיים מימית?

החמצן מגיע למים מהאוויר על ידי המסה וכן כתוצר הפוטוסינתזה המתרחשת באצות ובצמחים הגדלים במים, ולכן כמותו במים מושפעת הן מהטמפרטורה והן מהתהליכים המתרחשים באור ובחושך באורגניזמים החיים במים.



איור ב-22: השתנות ריכוז החמצן המומס במי אגם במהלך יממה

תשובה בעמוד מ-45

שאלה ב-11



- הסבירו על סמך איור ב-22, את השינויים בריכוז החמצן במים תוך התייחסות לתהליכים המתרחשים באורגניזמים בשעות היום השונות.

גורמים נוספים המשפיעים על תכולת החמצן במים הם אלה:

**ערבול** – ערבול המים מגביר את ההמסה במים של החמצן מהאוויר.  
**זרימה** – מים הזורמים במהירות, למשל במפלי מים, מכילים יותר חמצן ממים הזורמים לאטם.  
**ריכוז חומרים אורגניים** – במים עשירים בחומרים אורגניים מתרבים חיידקים מפרקים והם צורכים חמצן רב. במקרים קיצוניים יכול ריכוז החמצן במים לקטון במידה המסכנת את חייהם של דגים ובעלי חיים אחרים במים. התופעה הזו בולטת במים שהוזרם אליהם ביוב ביתי.



מערבל מים בבריכת דגים

## התאמות לריכוז החמצן הנמוך בסביבה מימית



זימים

האיבר שבו מתבצע חילוף הגזים בדגים הוא הזימים. שטח הפנים הגדול של הזימים יחסית לנפחם הוא התאמה להעברת כמויות גדולות של מים (תוך תנועת הדגים) על פני כלי הדם בזימים, וכך נקלט החמצן ביעילות רבה.



**ביולוגיה של האדם:** מבנה הריאות, מערכת הנשימה וחילוף גזים.  
**תא:** נשימה תאית.

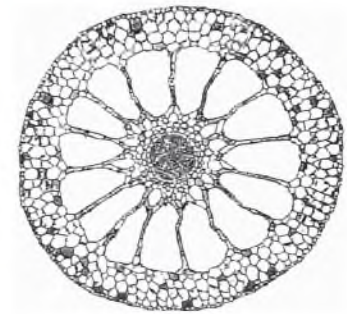
שאלה ב-12 תשובה בעמוד מ-45

הביאו דוגמה נוספת לעקרון המבנה של זימים וחשיבותו לקליטה יעילה של חמצן.

## מעניין לדעת

במים חיים גם יונקים כמו: לווייתנים, דולפינים וכלבי ים, הנושמים אוויר (ולא חמצן מומס במים) באמצעות ריאות. לווייתנים עולים אל פני המים מפעם לפעם כדי לנשום אוויר, ואחר כך הם צוללים שוב למצולות ויכולים לשהות שם כ-20 דקות ואף יותר.

החמצן חיוני גם לצמחים החיים במים. אחת התכונות של צמחי מים עילאיים היא קיומה של רקמה בעלת מערכת מסועפת של חללי אוויר גדולים באיברים (עלים, גבעולים ושורשים) (איור ב-23). רקמה זו משמשת לאגירה ולהובלה של חמצן בין חלקי הצמח.



איור ב-23: חללי אוויר בגבעול של צמח מים (חתך רחב)

## 52. פחמן דו-חמצני: מגיב בפוטוסינתזה, תוצר נשימה וגז חממה

ריכוזו של הגז פחמן דו-חמצני -  $CO_2$  - באוויר הוא כ-0.04% (זאת לעומת ריכוזו של החמצן שהוא כ-20% וחנקן שריכוזו קרוב ל-80%). על אף ריכוזו הנמוך הפחמן הדו-חמצני שבאוויר הוא מקור הפחמן היחידי לתהליך יצירת הפחמימות בפוטוסינתזה. תנו דעתכם לעובדה המדהימה שרוב החומרים ברקמות של עץ ענקי או במיליוני זרעי החיטה הנקצרת בשדה נוצרו מחומר שריכוזו בסביבת הצמח הוא כל כך נמוך!

בשל ריכוזו הנמוך באוויר ה- $CO_2$  הוא גורם המגביל את קצב הפוטוסינתזה (את קצב יצירת החומרים האורגניים). ההתאמה של צמחים לריכוז הנמוך של ה- $CO_2$  היא התאמה פיזיולוגית-ביוכימית: הפיוניות, שדרכן נקלט ה- $CO_2$ , נפתחות כאשר יורד ריכוזו בעלה. אולם כדאי לזכור שלפתיחת הפיוניות יש "מחיר" והוא איבוד מים דרך אותם פתחים (ראו עמוד 41). סגירת הפיוניות בעת מחסור במים בצמח מצמצמת את איבוד המים, אך בד בבד מונעת כניסת  $CO_2$  וגורמת להאטת תהליך הפוטוסינתזה.

### בעין חקלאית

בחממות סגורות ניתן להעשיר את האוויר ב- $CO_2$  וכך להגדיל את היבולים. 

אחד ממקורות ה- $CO_2$  באוויר הוא בתהליכים הביולוגיים שבהם מפורקות תרכובות אורגניות: תהליכי הנשימה התאית האווירנית והאל-אווירנית. זוהי עוד דוגמה להשפעה של הגורמים הביוטיים על הסביבה הא-ביוטית.

מאז שבני האדם החלו לשרוף פחם ונפט (בסוף המאה ה-18) להנעת כלי התחבורה והמכונות בתעשייה, עלה ריכוז ה- $CO_2$  באטמוספירה. כלומר,  $CO_2$  שהיה כלוא במעמקי כדור הארץ כתרכובות אורגניות, תוצרי פוטוסינתזה בעידנים קודמים, מצטרף למאזן ה- $CO_2$  באטמוספירה בימינו. עליית ריכוז ה- $CO_2$  באוויר גורם לדאגה רבה בקרב המדענים, משום שה- $CO_2$  הוא "גז חממה" ותורם להתחממות האטמוספירה (הגברה של אפקט החממה) שהשלכותיה על החיים על פני כדור הארץ עלולות להיות מזיקות (אם כי הן עדיין לא ברורות לחלוטין). לעומת זאת יש הצופים שבעקבות העלייה בריכוז ה- $CO_2$  שיעור הפוטוסינתזה יעלה וכמות היבולים תגדל.

$CO_2$  מסיס מאוד במים (880 מ"ל של  $CO_2$  מתמוססים ב-1 ליטר של מים בטמפרטורה של  $20^{\circ}C$ ) לעומת החמצן (שמסיסותו היא כ-6 מ"ל בליטר מים). ולכן בסביבה המימית הוא אינו מהווה גורם מגביל לפוטוסינתזה. המקורות ל- $CO_2$  שבמים הם הנשימה של האורגניזמים שבמים, ה- $CO_2$  שמומס במי הגשם ובמי נחלים וכן תהליכים כימיים שונים. מסיסותו יורדת עם העלייה בטמפרטורה בדומה לשינוי במסיסות החמצן במים.

## 6. טמפרטורה: חיים מתאפשרים בטווח מוגבל של טמפרטורות

לעתים אנו נוטים להתעלם מכך שקרינת השמש כוללת גם קרינה שאינה נראית לעין האדם, אך אנו חשים בה כחום. זוהי קרינה בתחום התת-אדום. הקרינה מחממת את האטמוספירה של כדור הארץ לטווח טמפרטורות שבהן המים הם במצב נוזלי וזמינים לאורגניזמים. כלומר, טווח טמפרטורות המאפשר קיום של תהליכי החיים.

קרינת החום המגיעה מהשמש חשובה מאוד לחיי האורגניזמים. מוכרים זוחלים למיניהם המתחממים בשמש, וללא החום הנקלט בדרך זו בגופם הם אינם מסוגלים לתפקד. חשבו גם על אזורי הקטבים, שהטמפרטורה הנמוכה השוררת בהם היא אחד הגורמים המונעים התפתחות של מערכות אקולוגיות מורכבות ועשירות.



**מחזור הפחמן ומקור ה- $CO_2$**   
באוויר ראו בפרק ג.

**השפעת גורמים ביוטיים על גורמים אביוטיים: תהליכי הנשימה משפיעים על ריכוזי החמצן וה- $CO_2$ .**

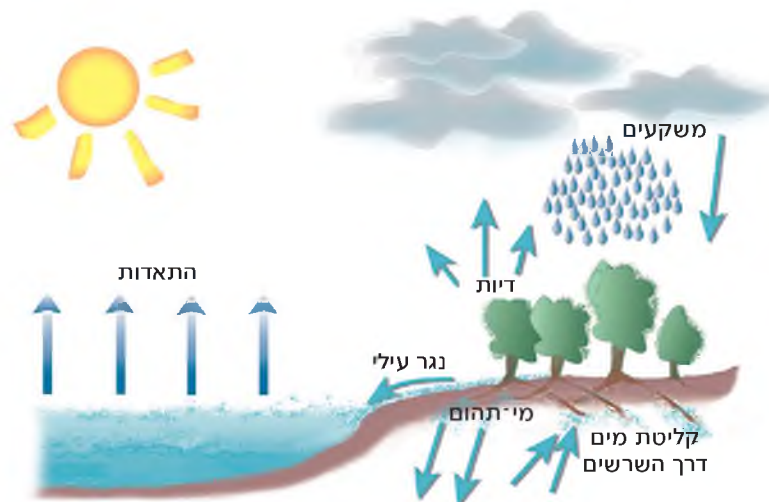
**תפיסות שגויות 8 ו-9**  
ראו טבלה בעמוד מ-10.

אחת השאלות הנחקרות כיום היא: האם הגברת שיעור הפוטוסינתזה על ידי מערכות הצומח הטבעי והנטוע די בה כדי לשמר את רמת ה- $CO_2$  בתחום הקיים היום ולמנוע עלייה בריכוזו באטמוספירה?

**השפעה הדדית בין גורמים א-ביוטיים: אור וטמפרטורה, טמפרטורה ומים.**

חשיבות נוספת של חום השמש היא בהנעת **מחזור המים**: חום השמש מספק את האנרגיה להתאיידות המים מן האוקיינוסים ומן הצמחים. אדי המים מתעבים לעננים הנעים עם זרמי האוויר באטמוספירה (גם הם תוצאה מהתחממות האוויר), ולאחר מכן יורדים המים כמשקעים. (איור ב-24).

גם האור הנראה תורם להתחממות של אורגניזמים ושל האטמוספירה. אור נראה הנבלע בגוף כהה יכול להפוך לקרינה בתחום האור התת־אדום, כלומר לקרינת חום. זו הסיבה שמשטחים כהים המוארים בשמש מתחממים כל כך (למשל: בסיס קולטי השמש צבוע שחור).



איור ב-24: מחזור המים

## תהליכים באורגניזמים מושפעים מהטמפרטורה

בהכללה רבה ניתן לומר שתהליכי החיים מוגבלים לטמפרטורות שבהן המים הם במצב נוזלי, כלומר 0-100 מעלות צלסיוס.

יחד עם זאת, טווח **הטמפרטורה המיטבית** (אופטימלית) של רוב האנזימים בתאים הוא צר יותר, ופעילותם נפגעת בטמפרטורות שמחוץ לטווח זה. בטמפרטורות נמוכות התנועה האיטית של המולקולות מאטה את התהליכים האנזימטיים. עלייה בטמפרטורה עד לטמפרטורה של 40-50 מעלות צלסיוס גורמת להאצה של תהליכים אנזימטיים ושל תהליכי הדיפוזיה בתאים. החום מגביר את אנרגיית התנועה של המולקולות וכך מזרז את התהליכים הכימיים. עד לטמפרטורה של כ-50°C שיעורם של תהליכים ביולוגיים גדל פי 2 עד 4 עם כל עלייה של 10 מעלות. עלייה נוספת בטמפרטורה, מעבר לטמפרטורה המיטבית, עלולה לגרום לשינוי מבנה החלבונים (דנטורציה) וכתוצאה מכך להאטה ואף לשיבוש של פעילות האנזימים ולפגיעה בתפקוד של מבנים חיוניים כמו קרומים ואברונים בתא.

השפעת הטמפרטורה על אורגניזמים ועל המערכת האקולוגית נובעת גם מהשפעתה על המים בתאים. בטמפרטורה הנמוכה מ-0°C נוצרים גבישי קרח בתאים, והם גורמים להרס של הקרומים הפנימיים ולהפסקת פעולות החיים.

### מעניין לדעת: עובדות חשובות לחיים

טמפרטורת השמש היא כ-6,000°C. רק 9% מהקרינה הם בתחום הקרינה העל־סגולה המזיקה וגם זו נבלעת בחלקה על ידי שכבת האוזון. אילו טמפרטורת השמש הייתה גבוהה ב-10%, כמות הקרינה העל־סגולה המזיקה הייתה גדלה



תא: פעילות אנזימים מושפעת מהטמפרטורה.

שימו לב לקשר בין טווח הטמפרטורות המאפשר חיים לבין תכונות המים.

הטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ היא 15 מעלות צלסיוס. זהו נתון עמום במקצת שהרי יש הבדל גדול בין הטמפרטורה הממוצעת בקו המשווה לזו שבקטבים ובין זו שעל פני האדמה לבין הטמפרטורה בגובה האטמוספירה, וכן בין הטמפרטורות באותו מקום בעונות שונות. ממוצע של 15 מעלות פירושו אפשרות של חיים על מגוון צורותיהם. על פני הירח הטמפרטורה הממוצעת היא מינוס 20 מעלות.

לממדים שלא היו מאפשרים חיים וגם הטמפרטורה הייתה גבוהה מדי לרוב היצורים החיים. אילו טמפרטורת השמש הייתה נמוכה ב-10%, הטמפרטורה הממוצעת על פני כדור הארץ הייתה יורדת ל-14°C-, כל המים היו קופאים ולא היו מתאפשרים חיים.



## ויסות טמפרטורה

קיומם של תהליכי החיים מחייב שמירה על טווח טמפרטורות המאפשר את קיומם של תהליכים חיוניים בתאים. אולם רוב האורגניזמים חיים בסביבה שבה הטמפרטורה אינה קבועה אלא משתנה. לעתים היא יורדת מאוד, ולעתים היא עולה עד לרמות העלולות לסכן את האורגניזם. האורגניזמים נבדלים אלו מאלו בכושרם לווסת את טמפרטורת גופם או לשמור עליה. בצמחים אין מנגנונים מיוחדים להעלאת הטמפרטורה, לכן תפוצתם מוגבלת לאותם אזורים שבהם הטמפרטורה אינה נמוכה במיוחד. עם זאת הדיות בצמחים מסייעת לאיבוד חום בסביבה שבה הטמפרטורה גבוהה יחסית.



חרדון

בעלי חיים נחלקים לשתי קבוצות מבחינת כושרם לוויסות טמפרטורת הגוף:

**א. פויקילותרמים (אקטותרמים)** – לבעלי החיים בקבוצה זו אין מנגנון פנימי לוויסות הטמפרטורה, ולכן טמפרטורת גופם תלויה בטמפרטורת הסביבה ובהתנהגותם. לקבוצה זו שייכים חסרי החוליות, ומבין בעלי החוליות – הדגים, הדו-חיים והזוחלים. בפויקילותרמיים ויסות הטמפרטורה נעשה על ידי שינוי התנהגות: מעבר לאזור חם או קר לפי הצורך. לטאות וחרדונים חושפים את עצמם לשמש כאשר הטמפרטורה שלהם נמוכה, וכאשר החום רב הם עומדים על רגליהם וכך הם מרחיקים את גופם מהקרקע החמה. נחשים מתחפרים בחול כאשר הטמפרטורה בסביבה גבוהה מאוד.

**ב. הומאותרמים (אנדותרמים)** – לבעלי החיים בקבוצה זו יש מנגנון מורכב לוויסות הטמפרטורה של גופם והודות לכך טמפרטורת גופם קבועה פחות או יותר. להומאותרמים שייכים המפותחים מבין החולייתנים: העופות והיונקים (לרבות האדם). סטייה ואפילו קטנה מטווח הטמפרטורה התקין גורם להפעלת מערכת משוב המפרישה הורמונים לדם, והשפעתם יכולה להתבטא בהאטה או בזירוז ייצור החום ברקמות באמצעות שינוי קצב הפקת אנרגיה בנשימה התאית. בנוסף לכך רוב ההומאותרמים מווסתים את הטמפרטורה גם על ידי שינוי ההתנהגות התורם לצמצום הפסדי חום אל הסביבה ו/או הגברת קליטת החום ממנה. האדם למשל, לובש בגדי צמר כדי להקטין איבוד חום לסביבה קרה.

## ■ עקרונות בוויסות טמפרטורה

היכולת לווסת את הטמפרטורה מבוססת על שלושה עקרונות אלה:

### 1. יחס שטח הפנים לנפח

ליחס בין שטח הפנים של אורגניזם לבין נפחו יש חשיבות רבה בוויסות הטמפרטורה. קליטה פסיבית של חום ואיבודו נעשים דרך שטח הפנים של האורגניזם, וככל ששטח זה גדול יותר, כן יגדלו איבוד החום או קליטתו. אולם לא רק השטח קובע את יעילותו של אמצעי זה בוויסות הטמפרטורה. לנפח הגוף ה"כלוא" בתוך מעטפת שטח הפנים יש השפעה רבה על מאזן החום.

**?? תפיסה שגויה:**  
פויקילותרמים הם בעלי דם קר.  
דמם של פויקילותרמים אינו קר אלא הטמפרטורה שלהם נעה בתוך טווח רחב ותלויה בטמפרטורת הסביבה ובהתנהגותם.  
היכולת לווסת טמפרטורה נחשבת למאחרת מבחינה אבולוציונית. ראו גם תפיסה שגויה 7 בטבלה שבעמוד מ-10.



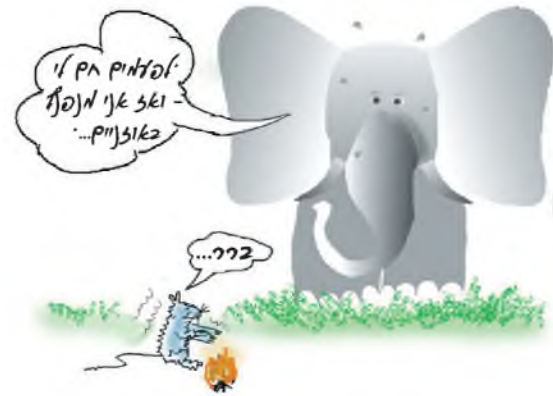
**תא:** אנרגיית חום שנוצרת בנשימה התאית תורמת לחום הגוף של ההומאותרמיים.



חישוב מתמטי פשוט מראה שבאורגניזם קטן שטח הפנים גדול יחסית לנפחו. באורגניזם גדול המצב הפוך – שטח הפנים קטן יחסית לנפח הגוף. המטבוליזם המתקיים בגופו של הפיל, שנפחו גדול ומסתו גדולה, גורם לשחרור אנרגיית חום שדי בה כדי למנוע ירידה בטמפרטורה. יתרה מכך, לפילים החיים באזורים חמים יש אוזניים גדולות, ששטח הפנים הגדול שלהן מסייע לפליטת עודף חום.



אוזני הפיל מסייעות במניעת התחממות



אצל יונקים קטנים שטח הפנים גדול יחסית לנפח הגוף והמסה קטנה, והדבר מקשה על וויסות יעיל של טמפרטורת גופם. תינוק שזה עתה נולד עלול לאבד חום רב, ולכן חשוב לשמור על חום גופו, ולהגן עליו בלבוש מתאים.

על קושי ליישם את משמעות היחס שטח פנים/ נפח לוויסות טמפרטורה ראו טבלה בעמוד מ-10 סעיף 6.

**יחס שטח הפנים לנפח** הוא, אם כן, גורם המגביל את גודל גופם של בעלי חיים הומאותרמיים.

**2. הורדת נקודת הקיפאון של המים**

המים קופאים (הופכים לקרח מוצק) בטמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$ . אפשר להוריד את נקודת הקיפאון של המים על ידי העלאת ריכוז המומסים בהם. למשל, נקודת הקיפאון של מי ים היא  $-1.9^{\circ}\text{C}$ . הדם ורקמות הגוף של רוב בעלי החוליות מכילים מלחים שריכוזם הוא כמחצית מריכוזם במי ים, ולכן הם קופאים בטמפרטורה הנמוכה רק במעט  $-0.5^{\circ}\text{C}$ . אילו היה עולה ריכוז המלחים בדם, ייתכן שאפשר היה להתקיים גם באזורים קרים מאוד. אולם העלאת ריכוז המלחים הייתה גורמת נזק לחלבונים, ולכן אין זה "פתרון" מתאים. אצל אורגניזמים רבים (בעיקר נחקרו דגים, אך גם חרקים וצמחים) נקודת הקיפאון יורדת מתחת ל- $0^{\circ}\text{C}$  בגלל נוכחותם של חומרים שאינם מלחים, למשל גליצרול, הפועלים בדומה לפעולת הנוזל למניעת קפיאה (Anti-Freeze) המוסף בחורף למי הקירור במכוניות.

**3. חלבונים של עקת חום (Heat Shock Proteins)**

בצמחים וגם בבעלי חיים יש חלבונים המסייעים לייצוב המבנה השלישוני של החלבון. בתנאים של עקת חום (טמפרטורות גבוהות בסביבה) גובר מאוד ייצורם של חלבונים אלה והם מגינים על חלבוני התאים מפני דנטורציה. זהו אמצעי המגן על תפקוד החלבונים באורגניזם שנחשף לטמפרטורה גבוהה למשך זמן קצר. ההגנה על ידי החלבונים של עקת חום גורמת לפגיעה זמנית בלבד בתפקוד חלבוני הגוף ה"מוגנים".

## התאמות לטמפרטורות קיצוניות

דרכי ההגנה מטמפרטורות קיצוניות (נמוכות מאוד או גבוהות מאוד) הן חלק מההתאמות של אורגניזמים לסביבתם, וניתן למצאן לא רק בפויקילותרמים אלא גם בהומאותרמיים. בטבלה ב-7 מסוכמות דרכי ההתאמה השונות.

טבלה ב-7: התאמות לשמירה על הטמפרטורה בצמחים ובבעלי חיים

דוגמה		סוג ההתאמה	
צמחים	בעלי חיים		
כיסוי מבריק בעלים, שעירות, צורת העלה וגודלו: עלים גזורים ומפורצים	אוזניים גדולות עם כלי דם רבים המסייעים לפיזור חום	מבנה (מורפולוגית)	מניעת התחממות יתר
דיות	הגברת ההזעה, התרחבות כלי הדם בהיקף הגוף	פיזיולוגית- ביוכימית	
-	הסתרות במקומות מוצלים ולחים, הלחתה	התנהגותית	
חלבונים של עקת חום		ביוכימית	מניעת נזקי טמפרטורה גבוהה
השרת עלים בחורף	פרווה עבה, שכבת בידוד מתחת לעור	מבנה (מורפולוגית)	מניעת התקררות או קפיאה
ייצור חומרים נוגדי קיפאון העלאת ריכוז הסוכר בתאים	הגברת מטבוליזם, ייצור חומרים נוגדי קיפאון	פיזיולוגית- ביוכימית	
-	התחפרות מתחת לפני הקרקע, התכרבלות	התנהגותית	



סוגי ההתאמות ראו בפרק א.

ריבוי פנים של תופעות באקולוגיה: ההתאמה ההתנהגותית היא ביטוי של התאמה פיזיולוגית-ביוכימית בתיווך הורמונים ואברי חוש.

### בעין חקלאית: הקלת עומס החום



1. נהוג לצבוע בלבן גזעים של עצי פרי לאחר שנגזמו ונותרו חסרי עלים. הצבע הלבן מחזיר חלק גדול מהקרינה הפוגעת בגזע, וכך קטנה העלייה בטמפרטורה העלולה לפגוע בתהליכי הצמיחה.
2. להקלת עומס החום ברפתות ובלולים ממטירים מים על הפרות ועל גגות הלולים ומפעילים מאוררים.
3. חקלאים ממטירים מים על צמחים בעת שנשקפת להם סכנת קרה. קפיאת טיפות המים על העלים משחררת חום (ראו טבלה ב-1) המקטין את סכנת הקפיאה של רקמות העלה.

נתונים על שחרור חום בקפיאה ראו בהערה לעמוד 38 (בעמוד מ-25).



הצמח מדחול נחשף להשפעת הרוח בחוף הים

## 7.2. רוח: תנועה של האוויר

האטמוספירה אינה קבועה במקומה אלא נעה כל הזמן. תנועה זו של האוויר שסביבנו היא הרוח, ואנו חשים בה ורואים את פעולתה, כאשר העצים נעים והעננים חולפים מעלינו. עצמת הרוח וכיוונה מושפעים מהבדלי הלחצים של האוויר (אוויר זורם מלחץ אטמוספירי גבוה ללחץ נמוך) מהבדלי הטמפרטורה של גושי האוויר וממבנה פני השטח (הטופוגרפיה).



השפעות מועילות ומזיקות של הרוח על צמחים ובעלי חיים	
השפעה על צמחים	השפעה על בעלי חיים
הפצת גרגרי אבקה, זרעים ופרות	קירור הגוף על ידי אידיוי מהיר של הזיעה
הגברת הדיות (איבוד מים) וקירור הצמח	סיוע למעופם של חרקים ושל ציפורים נודדות
שבירת ענפים והשפעה על כיוון הצמיחה	חשיפת מקומות המסתור של בעלי חיים קטנים המוצאים מחסה מתחת לעלים שנשרו
חשיפת שורשים ועקירת הצמח מהקרקע	 שקי אוויר
פציעת העלים מגרגרי חול העפים ברוח	
כיסוי הצמחייה בחול	
שינוי הרכב הקרקע בעקבות סחיפת גרגרי קרקע	

גרגר אבקה של אורן (מוגדל בערך פי 600). שקי האוויר מסייעים להפצה.



הפצת זרעים על ידי רוח



פרי של העץ מִכְנָף



פרדסים מוגנים מרוח על ידי שדרות ברושים



אורנים שצמיחתם הושפעה מרוח

### מעניין לדעת



מסלולי הנדידה של עופות נודדים נקבעו במהלך האבולוציה בהשפעת זרמי האוויר במסלולי הנדידה. כך, למשל, מתרחשת הנדידה של עופות בסתיו מאירופה לדרום אפריקה דרך אזורי יבשה צרים, כמו דרך מדינת ישראל ומיצר גיברלטר. מה הסיבה לכך? מדוע לא נודדות הציפורים במסלול הקצר החוצה את הים התיכון? התשובה לכך היא שהאוויר מעל היבשה חם יותר. לאוויר חם יש נטייה לעלות למעלה. העופות מנצלים תכונה זו, והם דואים בעזרת האוויר החם וכך חוסכים אנרגיה. מעל לגופי מים גדולים, כמו הים התיכון, האוויר קר יותר, ולכן חצייתו בתעופה דורשת מאמץ רב.

## ב.8. קרקע: מצע גידול, סביבת חיים ומשאב לחקלאי

הקרקע, שלא כגורמים האביוטיים האחרים כמו: טמפרטורה, אור, לחות וחמצן, מורכבת ממכלול גורמים א־ביוטיים וביוטיים: מינרלים שמקורם בסלע האם שמהם נוצרו הקרקעות, חומר אורגני בשלבים שונים של פירוק, מים, חומרים מומסים במים, גזים ואורגניזמים שונים שהקרקע היא סביבת חייהם. הקרקע היא מערכת מורכבת מושפעת מגורמים א־ביוטיים ומגורמים ביוטיים, ומתרחשים בה שינויים ללא הרף:

- שינויים פיזיים – שינויי הטמפרטורה תורמים לפירוק הסלע ולהתפוררותו, המלחת הקרקע בשל התאדות המים, מי הגשמים שוטפים מינרלים מהקרקע.
  - שינויים כימיים – תגובות בין מרכיבי הקרקע שאינן קשורות לנוכחות אורגניזמים.
  - תהליכים ביולוגיים – פירוק חומרים אורגניים לחומרים אנאורגניים על ידי מיקרואורגניזמים, קליטת מינרלים על ידי שורשים, הפרשות משורשים.
- תכונות הקרקע משפיעות על הצמחים הגדלים בה ועל החי שבקרקע ומעליה, והן גם קובעות את מידת הניצול האפשרי של הקרקע על ידי האדם לגידולי חקלאות.



קרקע חרושה

### מרכיבי הקרקע ותכונותיה

לקרקע ארבעה מרכיבים: חומר אנאורגני, חומר אורגני, מים ואוויר. ברוב הקרקעות המרכיב שכמותו היא הרבה ביותר הוא החומר האנאורגני, ואילו החומר האורגני הוא המרכיב שכמותו היא הקטנה ביותר. בקרקעות שונות היחסים הכמותיים בין המרכיבים משתנים עם הזמן ובהשפעת השקיה (ככל שיש יותר מים יש פחות אוויר). היחסים הכמותיים בין מרכיבים אלו בקרקע קובעים את תכונות הקרקע ואת מידת פוריותה.

#### 1. החומר האנאורגני

מקורו של החומר האנאורגני הוא "סלע האם" שממנו נוצרה הקרקע. הוא הקובע את הרכב המינרלים שיהיו בקרקע, את גודל החלקיקים ומשפיע על המרקם שלה. חומרים אנאורגניים אחרים בקרקע, למשל יוני אמוניה ( $\text{NH}_4^+$ ), הם תוצרי פירוק של חומרים אורגניים. היסודות המינרלים שבקרקע נקלטים על ידי שורשי הצמחים יחד עם המים והם חיוניים להתפתחותם התקינה של הצמחים (טבלה ב-8). דוגמאות: היסוד חנקן (N) הוא מרכיב הכרחי בחלבונים; היסוד מגנזיום (Mg) מהווה חלק ממולקולת הכלורופיל, ובלעדיו לא יתפתח הכלורופיל הכרחי לביצוע הפוטוסינתזה; היסוד זרחן (P) מהווה חלק ממולקולת ה-ATP ומחומצות הגרעין שבתאי הצמחים.

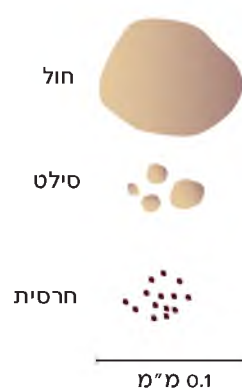
**טבלה ב-8: יסודות חשובים להתפתחות הצמח ולתפקודו**

חשיבותו להתפתחות הצמח	היסוד	
מרכיב בחומצות אמיניות, בחלבונים, בנוקלאוטידים, בחומצות גרעין, בכלורופיל, ב-ATP, בהורמונים ובקואנזימים.	חנקן N	יסודות הדרושים בכמות גדולה יחסית לבניית הצמח
מעורב בשמירה על ריכוז אוסמוטי תקין וכן מעורב בבקרה של פתיחת הפיוניות וסגירתן. חיוני לפעילות אנזימים רבים.	אשלגן K	
דרוש לפעילות אנזימים. מעורב בבקרת תפקודי קרומים ואנזימים. מרכיב בדפנות התאים.	סידן Ca	
מרכיב במולקולת הכלורופיל. נחוץ להפעלת אנזימים רבים.	מגנזיום Mg	
מרכיב בחומצות אמיניות מסוימות, בחלבונים ובקואנזימים.	גופרית S	
מרכיב במולקולות ATP, ADP, בחומצות גרעין, בקואנזימים ובשומנים (פוספוליפידים).	זרחן P	
מרכיב בנשאי אלקטרונים בפוטוסינתזה ובנשימה התאית. דרוש ליצירת הכלורופיל.	ברזל Fe	יסודות הדרושים בכמות קטנה יחסית לבניית אנזימים ולהפעלת תהליכים
נחוץ להפעלת אנזימים מסוימים. נחוץ לשלמות קרומי הכלורופלסט ולשחרור חמצן בפוטוסינתזה.	מנגן Mn	
משפיע על ניצול הסידן, על יצירת חומצות גרעין ועל שלמות קרומים בתא.	בור B	
מרכיב או מפעיל של אנזימים רבים. דרוש ליצירת הורמונים מסוימים.	אבץ Zn	



דישון ראו בפרק ז.

קרקעות נבדלות אלו מאלו בגודל החלקיקים המרכיבים אותן: חול (חלקיקים גדולים), סילט וחרסית (חלקיקים קטנים). מיון חלקיקי קרקע לפי גודלם מוצג בטבלה ב-9.



**טבלה ב-9: סוגי חלקיקי קרקע וקוטרם**

קוטר החלקיק (מ"מ)	סוג החלקיק
2.00-0.200	חול גס
0.20-0.020	חול עדין
0.02-0.002	סילט (Silt) (*)
פחות מ-0.002	חרסית (**)

\* סילט קרויה גם אבק או טין  
\*\* חרסית קרויה גם טיט

סדרי הגודל של חלקיקי הקרקע



היחסים הכמותיים בין תכולת החול, הסילט והחרסית קובעים את מרקם הקרקע, והוא משפיע על משק המים בקרקע ועל אזורורה, כפי שנראה בהמשך (עמוד 66).

החקלאים נוהגים לסווג את הקרקע לשני סוגים עיקריים: **קרקע קלה וקרקע כבדה**. **קרקע קלה** מכילה אחוז גבוה יחסית של חלקיקים גדולים (חול), והיא נוחה לעיבוד חקלאי. **קרקע כבדה** מכילה אחוז גבוה יחסית של חלקיקים קטנים (חרסית), והיא פחות נוחה לעיבוד חקלאי, מכיוון שהתאחיזה בין גרגריה חזקה.

**שימו לב:**

התארים "קלה" ו"כבדה" מתייחסים לקלות העיבוד החקלאי ולא למסה (למשקל) של הקרקע. עם זאת יש חפיפה מסוימת בין המרקם לבין סוג הקרקע: קרקע כבדה מוגדרת גם כקרקע חרסיתית.

**2. החומר האורגני**

החומר האורגני שבקרקע מקורו בענפים, בעלים ובפירות שנשרו, בהפרשות בעלי חיים, בחלקי שורשים שמתו, בהפרשות חומרים מקצות השורשים (פחמימות וחומצות אמינו) ובאורגניזמים שמתו. שאריות אלה מפורקות לאטן על ידי כל האורגניזמים החיים בקרקע: פטריות, חיידקים ובעלי חיים, כמו השלשול, הניזונים משאריות אורגניזמים. לאחר הפירוק הראשוני נותר בקרקע חומר אורגני המתפרק באיטיות רבה, זוהי ה**רקבובית** (הומוס) בהמשך הפירוק מתקבלים חומרים אנאורגניים למשל מלחי חנקן ( $\text{NO}_3^-$ ) ואמוניה ( $\text{NH}_4^+$ ) הנקלטים על ידי הצמחים ומשמשים לבניית החלבונים. תוצרים אחרים של הפירוק הם תרכובות זרחן, אשלגן, סידן, גופרית, ברזל, מגנזיום ועוד, החשובים להתפתחות הצמחים (טבלה ב-8 לעיל).

החומר האורגני שבקרקע גורם ליצירת גושי קרקע (תלכידים) התורמים לאוורור הקרקע, לתאחיזת המים והיונים בחלקיקי הקרקע ולחדירות הקרקע לשורשים.

תשובה בעמוד מ-45

שאלה ב-13



מה היה קורה לולא פורקו שרידי האורגניזמים שמתו?

**3. מים בקרקע**

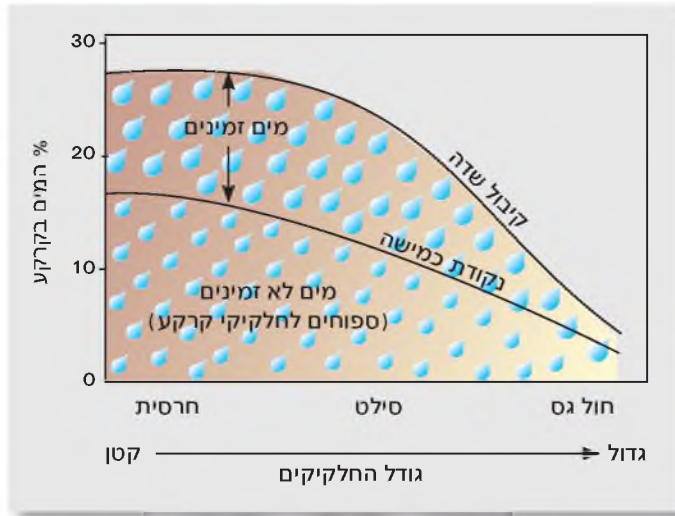
המים שבקרקע אינם מים טהורים אלא תמיסה שמומסים בה מינרלים שונים החיוניים לצמחים. לא כל המים שבקרקע זמינים בכל עת לצמחים הגדלים בה. מיד עם רדת הגשם או אחרי השקיה מתמלאים חללי האוויר שבין חלקיקי הקרקע במים. מצב זה נקרא **רְיָיָה**. כוח הכובד (כוח המשיכה) גורם לכך שחלק מהמים ("מי הכובד") מחלחלים מיד לשכבות העמוקות של הקרקע והם אינם זמינים לצמחים ששורשיהם נמצאים בשכבות הקרקע העליונות.

אך לא כל המים מחלחלים לעומק. קרקע המכילה מים שנותרו בה לאחר שמי הכובד חלחלו עמוק לתוכה נמצאת במצב הקרוי **קיבול השדה**. במצב זה יש מים זמינים לצמח הן במערכת הנימית שבין חלקיקי הקרקע והן סביב חלקיקי הקרקע. ככל שקוטר הנימים קטן, דרוש כוח גדול יותר כדי לרוקן אותם; וכך גם ככל ששכבת מולקולות המים הספוחה לחלקיקי הקרקע קטנה יותר, דרוש כוח רב יותר כדי לינוק את מולקולות המים. בסופו של דבר מגיעים למצב שבו עדיין יש מים ספוחים לחלקיקי הקרקע, אך הצמח אינו יכול לנצלם. מים אלה אינם זמינים לצמח. מצב זה נקרא **נקודת הכמישה**, משום שצמחים הגדלים בקרקע כזו כושלים ונובלים, אף שהקרקע אינה יבשה לגמרי.

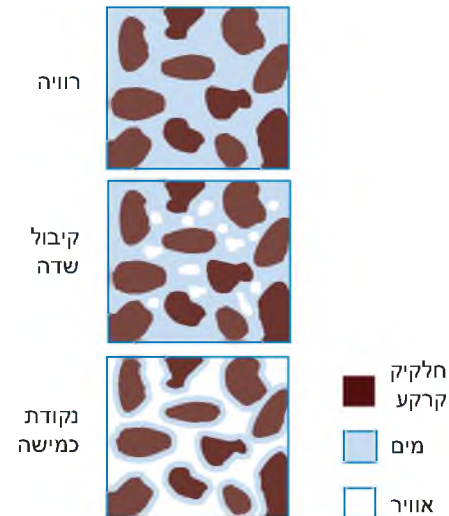


מחזור חומרים ראו בפרק ג.

לכל סוג קרקע יש קיבול שדה ונקודת כמישה האופייניים לה, ולפי זה גם משתנה כמות המים העומדת לרשות הצמח בכל סוג קרקע. הקשר בין גודל חלקיקי הקרקע לבין קיבול השדה ונקודת הכמישה מוצג באיור ב-25.



איור ב-25: הקשר בין גודל חלקיקי הקרקע לבין קיבול השדה ונקודת הכמישה



מצבי רטיבות הקרקע

תשובה בעמוד מ-45

שאלה ב-14



- תארו את הקשר בין גודל החלקיקים לבין קיבול השדה ונקודת הכמישה.
- תארו את הקשר בין גודל החלקיקים לבין כמות המים הזמינים העומדת לרשות הצמח.
- מה ההבדל, על סמך העקום, בין קרקע "כבדה" לקרקע "קלה"?

4. אוויר בקרקע

האוויר בקרקע הוא המקור לחמצן הנחוץ לנשימת שורשי הצמחים, הבצלים, הפקעות, הזרעים הנובטים והאורגניזמים האחרים בקרקע. אוורור לקוי עלול לפגוע בתפקוד השורשים, ובעיקר בקליטה פעילה של יונים. קליטת היונים צורכת אנרגיה המסופקת על ידי נשימה תאית אווירנית של תאי השורשים.

האוורור בקרקע מושפע מהמרקם ומתהליכים המתרחשים בה. ככל שהקרקע עשירה יותר בחלקיקים קטנים (קרקע כבדה) הקרקע דחוסה יותר והיא פחות מאווררת. תהליכי הנשימה של האורגניזמים בקרקע גורמים לכך שהרכב האוויר בקרקע יכול להיות שונה מהרכבו של האוויר החופשי; בעומק הקרקע ובקרקע לא מאווררת ריכוז החמצן נמוך יותר וריכוז ה- $CO_2$  גבוה יותר מריכוזם באוויר החופשי (באטמוספירה).

בקרקע שהוצפה במים האוורור לקוי ובשל מסיסות נמוכה של חמצן במים עלול להיווצר מחסור בחמצן לשורשים.



תא: העברה פעילה וצריכת חמצן.

השפעה הדדית בין גורמים א-ביוטיים בקרקע: מים - חמצן.

## חומציות הקרקע ומליחותה

לאורגניזמים החיים בקרקע יש טווח מיטבי של pH, שרק בו הם יכולים להתקיים. קרקע חומצית שה-pH בה נמוך (5 ואף פחות מזה) או בסיסית מדי (pH מעל 7.5) אינה מאפשרת חיים לקבוצות צמחים ולבעלי חיים שונים. החיסרון העיקרי של קרקע חומצית (pH נמוך) הוא שמשתנה בה מאזן היונים החיוביים: מצד אחד ריכוז יוני הסידן ( $Ca^{++}$ ) יורד, ומצד אחר עולה ריכוזם של יונים אחרים, כמו אלומיניום וברזל, העלולים להיות רעילים לצמח. קרקע הופכת לחומצית באזורים מרובי גשם: מי הגשמים שוטפים את היונים הבסיסיים מהקרקע, ובנוסף המים מכילים חומצה פחמתית שנוצרה מהמסה של  $CO_2$  מהאוויר. מיעוט גשמים, כלומר אי שטיפת הגיר (פחמת הסידן), גורם ל-pH בסיסי, במצב זה חלק מהמינרלים אינם מסיסים בתמיסת הקרקע אלא שוקעים כמלחים המעלים את ה-pH.

על פתרונות חקלאיים לבעיות של חומציות קרקע ראו בספר: פוטוסינתזה, עמוד 220.

היונים העיקריים הגורמים למליחות הקרקע הם יוני כלוריד ( $Cl^-$ ), יוני גופרית (למשל:  $SO_4^{--}$ ), דו־פחמות ( $HCO_4^-$ ) ויוני נתרן  $Na^+$ . השפעת המליחות מוסברת בשתי רמות ארגון: התא והאורגניזם.

התנדפות המים מפני הקרקע מעלה בכוח הנימיות תמיסת קרקע עם מלחים אל פני הקרקע. גם אם התמיסה אינה מרוכזת מאוד אידי המים גורם להצטברות מלחים על פני הקרקע. מכאן חשיבות משטר השקיה נאות השוטף את הקרקע ומונע עליית מלחים.

**מליחות הקרקע** נובעת מהרכבו של סלע האם וגם ממשטר הגשמים וההשקיה. מי הגשמים ממיסים את הסלע ומובילים את החומרים המומסים אל עומק הקרקע. באזורים גשומים מי הגשם הרבים ממיסים את המלחים ושוטפים אותם אל מי התהום. אך באזורים שחונים (מעוטי גשמים) גורמת התאדות המים מפני הקרקע להצטברות מלחים בשכבות הקרקע העליונות. בישראל בעיית המליחות מאפיינת את הקרקעות שבאזורי הנגב והערבה. המלחה יכולה להתרחש גם כאשר משקים במים במליחות נמוכה.

מליחות הקרקע פוגעת בצמחים בכמה אופנים. לדוגמה:

- המלחים נקלטים בצמח, מצטברים בו ופוגעים באברונים ובתהליכים המתרחשים בתאים.
- בקרקע מלוחה הריכוז האוסמוטי בקרקע הוא גבוה יחסית לריכוז האוסמוטי שבתאי השורש, מצב זה מקשה על קליטת המים מן הקרקע.

### בעין חקלאית: מליחות הקרקע



אחת הסבות למליחות הקרקע היא השקיה של שטחי חקלאות במים מליחים, שמליחותם עולה על זו של מי שתייה (מים שפירים), אולם נמוכה מזו של מי ים. השקיה במים מליחים היא לעתים כורח המציאות (למשל באזורי הערבה בנגב) בשל החיסרון במים שריכוז המלחים בהם נמוך.

מליחות הקרקע מהווה בעיה רצינית לחקלאי. שתי דרכים עומדות לפניו: לגדל גידולים עמידים יחסית למלח, כגון: תמר, רימון, סלק וזנים שונים של גפנים ועגבניות. אפשרות אחרת היא להקטין את מליחות הקרקע על ידי שטיפתה במים מעוטי מלח. בדרך זו נקטו ראשוני המתיישבים בקיבוץ בית הערבה שלחופי ים המלח (לפני מלחמת השחרור). בזמנו נחשבה החקלאות שהצליחו לפתח מתיישבי בית הערבה לנס של ממש.



אהל הגבישים. שימו לב לשערות המלח השלפוחיות שעל העלים.

תשובה בעמוד מ-45

שאלה ב-15



על פי הידוע לכם על אוסמוזה, הסבירו מדוע ריכוז מלחים גבוה בקרקע מקשה על קליטת המים על ידי השורשים.

יש צמחים הגדלים יפה בקרקע מלוחה. בצמחים אלה התפתחו במהלך האבולוציה מנגנוני התאמה לתנאי מליחות. הפרשת עודפי מלח דרך העלים בצמח אהל הגבישים היא תופעה המעידה על קיומו של מנגנון כזה. אם נלקק את העלים נוכל לחוש בטעמם המלוח.



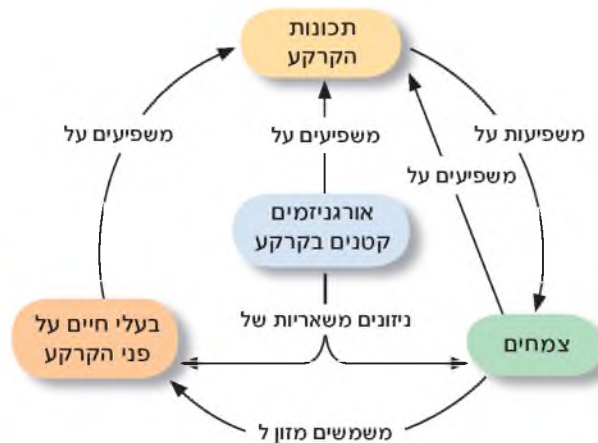
## יחסי הגומלין בין הקרקע לבין האורגניזמים בבית הגידול

בסעיפים הקודמים צוינו כמה גורמים חשובים המשפיעים על תכונות הקרקע: סלע האם שממנו נוצרה הקרקע, האקלים, ו"גיל" הקרקע. גם הצמחייה משפיעה על תכונות הקרקע. מצד אחד סוגי הצמחים הגדלים בבית הגידול נקבעים במידה רבה על פי תכונות הקרקע, אך מצד אחר הצמחייה עצמה משפיעה על תכונות הקרקע, תורמת להתפתחותה ולחומר האורגני שבה. וכך בעקיפין משפיעה הקרקע גם על בעלי החיים המתקיימים בבית הגידול וניזונים מהצמחים הגדלים בו. יחסי הגומלין בין האורגניזמים לבין הקרקע מתוארים בטבלה ב-10 ובאיור ב-26.

טבלה ב-10: יחסי הגומלין בין האורגניזמים לבין הקרקע

השפעה על הקרקע	מקבלים מהקרקע/ מוצאים בקרקע	האורגניזם
- פירוק מכני של סלע האם - שאריות והפרשות של שורשים מעשירות את הקרקע בחומר אורגני	מים ומינרלים	שורשי צמחים
טיוח וטיוב הקרקע	מזון, מחסה והגנה מפני התיבשות	שלשולים
תייחוח ואוורור הקרקע ע"י חפירת מחילות	מקום מחסה או קינון	חולדים, עכברים
חידוש (מחזור) מלאי חומרי הזנה, מינרלים זמינים לצמחים	מזון	פטריות, חיידקים (מפרקים)

השפעה של גורמים ביוטיים על גורמים א-ביוטיים.



איור ב-26: השפעות הגומלין העיקריות בין היצורים לבין הקרקע ותכונותיה

להשפעות ההדדיות בין האורגניזמים לבין הקרקע יש השפעה על תהליכי הסוקססיה (פרק ה).

## הקרקע כבית גידול

הקרקע חשובה מאוד לחיי האורגניזמים החיים על פניה, אך בנוסף על כך הקרקע עצמה מהווה בית גידול מגוון ומיוחד במינו. כמות האורגניזמים החיים בקרקע היא גדולה ביותר. רוב האורגניזמים מתרכזים בשכבה שיש בה רקבובית, ועומקה נע בין 5 ל-25 ס"מ. לחברת היצורים שבקרקע שייכים יצורים החיים בה בקביעות ומופיעים רק לעתים נדירות על פני הקרקע.

עוד על  
מיחזור חומרים וקיבוע  
חנקן ראו בפרק ג.



פקעיות חנקן בקטניות

עוד על  
חיי שיתוף ראו בפרק ד.



היצורים בקרקע

עוד על  
דישון והשקיה ראו בפרק ז.


המיקרואורגניזמים בקרקע: החיידקים, הפטריות ואורגניזמים חד־תאיים שונים – כמותם בקרקע גדולה ביותר: 1 גר' קרקע יכול להכיל 100 מיליון חיידקים! לפטריות ולחיידקים תפקיד חשוב במחזור החומרים בקרקע והעשרתה בחומרים אנאורגניים זמינים לצמח. הם מפרקים חלקי אורגניזמים שמתו ומשחררים את תוצרי הפירוק לקרקע. תוצרי הפירוק האנאורגניים נקלטים על ידי שורשי הצמחים יחד עם המים ומנוצלים על ידם. בדרך זו תורמים הפטריות והחיידקים למחזור החומרים בביוספירה.

נציין גם את החיידקים קושרי החנקן. חיידקים אלה הם האורגניזמים היחידים היכולים להשתמש בחנקן החופשי באוויר ליצירת תרכובות חנקניות (קיבוע ביולוגי של חנקן). חלקם חיים בשיתוף עם צמחים שונים, בעיקר ממשפחת הקטניות. בצמחים אלה החיידקים חיים במבנים מיוחדים (פקעיות) המתפתחים על שורשי הצמח. החיידקים מקבלים מהצמח פחמימות ומספקים לו חנקות (צמחים אינם מסוגלים לקבוע חנקן חופשי וליצור בעצמם חנקות).

נוסף על החיידקים והפטריות יש בקרקע עוד אורגניזמים רבים: שלשולים, נמטודות, קפזנביים, אקריות קרקע, זחלי זבובניים וזחלי חיפושיות, גם החולד נכלל בחברה זו.

בעין חקלאית: החקלאי משפיע על מבנה הקרקע ועל הרכבה 

הקרקע היא המשאב העיקרי של החקלאי. גידולי החקלאות מנצלים את מאגר המים והחומרים בקרקע ולכן כדי לקבל יבולים לאורך שנים יש לנהל ניהול מושכל את משאב הקרקע. הפעולות העיקריות שהחקלאי עושה הן אלה: עיבוד מכני של הקרקע, הוספת זבל אורגני, דישון והשקיה. העיבוד המכני של הקרקע נעשה במחרשות ובכלים אחרים. באמצעות החריש מושגות כמה מטרות בו זמנית: אוורור הקרקע, עקירת עשבים המתחרים בגידול החקלאי, ערבוב והטמנה בקרקע של שאריות צמחים (שנותרו מגידול קודם), דשנים, זבל וחומרי הדברה. כל אלה תורמים לפוריות הקרקע ומאפשרים צמיחה מיטבית של צמחי החקלאות.

הוספת זבל אורגני משפרת את אוורור הקרקע, הזבל מוסיף מצע לפעילותם של היצורים בקרקע, וכך בעקיפין מועשרת הקרקע גם בתוצרי הפירוק של החומר האורגני. 

## 9. חיים בתנאי סביבה קיצוניים

עד כה הוזכר רק בקצרה שחיים יכולים להתקיים ואף לשגשג בסביבות שבהן התנאים הא־ביוטיים אינם מיטביים לרוב היצורים. בעשרות השנים האחרונות גילו החוקרים האקולוגים (להפתעתם) עוד ועוד מערכות אקולוגיות המתקיימות בתנאי סביבה מאוד קיצוניים. דוגמאות אחדות מוצגות להלן. הגילויים האלה הובילו למסקנות מעניינות לגבי התפתחות החיים בכדור הארץ הקדום שתנאיו היו קיצוניים הרבה יותר מהתנאים הנוחים יחסית השוררים בו כיום. ייתכן שהיצורים המתקיימים כיום בסביבות קיצוניות הם שרידים של יצורים קדומים.

### דוגמה 1: מגוון ביולוגי עשיר במבועים החמים והחשוכים שבמעמקי האוקיינוסים



מערכת אקולוגית במעמקי אוקיינוס

בשנות ה־70 של המאה ה־20 התגלו במעמקי האוקיינוסים מערכות אקולוגיות המתקיימות בסמיכות לאזורים שבהם מבעבעים מים חמים מאוד – עד 300 מעלות צלסיוס שמקורם בפנים כדור הארץ, אלה הם המבועים החמים. המים החמים מתערבבים עם המים הקרים מאוד, והטמפרטורה שסביב המבועים יורדת לכ־100 מעלות צלסיוס. בקרבת המבועים התגלו לא רק חיידקים שמכבר היה ידוע שהם יכולים להתקיים בטמפרטורות גבוהות, אלא גם יצורים רב־תאיים אוקריוטיים, כמו תולעים וצדפות. באזורים אלה לא רק חם מאוד אלא גם חשוך (אין אור), ולכן אין אפשרות לקיים פוטוסינתזה. שרשרת המזון נסמכת על חיידקים (כמוסינתטיים) המייצרים חומרים אורגניים ללא אור.

תפיסה שגויה 3 ראו  
טבלה בעמוד מ-10.



כימוראוטוטרופים ראו בפרק ג.

האנרגיה הדרושה ליצירת החומרים האורגניים מופקת מחמצון H<sub>2</sub>S.

### דוגמה 2: חיידקים במעיינות חמים

גילוי החיידקים לפני כ־300 שנה חשף בפני החוקרים עולם שלם של יצורים זעירים שעדיין לא התגלה במלואו. כמעט בכל מקום ופינה על פני כדור הארץ שבעבר סברו שאין חיים יכולים להתקיים בהם – מעיינות חמים, מים מלוחים, מעמקי הקרח ובעובי האדמה – נמצאו חיידקים המותאמים לחיים בסביבות אלה. החיידקים במעיינות החמים נחקרו לא מעט, והתגלה שהאנזימים שלהם הם בעלי מבנה מיוחד המקנה להם עמידות בתנאי הטמפרטורה והמליחות הקיצוניים.

במעיינות חמים בפארק ילוסטון שבארה"ב נתגלו חיידקים שיש להם אנזים המזרז שכפול של DNA והוא עמיד בטמפרטורות גבוהות מאוד. גילוי של האנזים הזה גרם למהפכה בביוטכנולוגיה, משום שהוא מאפשר לשכפל כמויות גדולות של DNA גם מכמויות זעירות ביותר, תהליך המכונה PCR (Polymerase Chain Reaction). שכפול DNA מדגימה זעירה הוא צעד חשוב במחקר ובתהליכים ביוטכנולוגיים.



מעין של מים חמים בפארק ילוסטון (ארה"ב)

על שיטת PCR: ראו בספר גנטיקה, עמוד 256 – 258.



ים המלח

### דוגמה 3: חיים בים המוות

ים המלח נקרא גם "ים המוות", משום שבעבר סברו שאין אפשרות לחיות במימיו המלוחים. והנה נתגלו בו אצות וחיידיקים שגדלים היטב דווקא במים המלוחים. האצה דונליאלה נפוצה בשכבה העליונה של מי הים. דופן האצה אינה קשיחה ולכן התאים יכולים לשנות את נפחם (לאבד או לקלוט מים) מבלי להיפגע. יכולתה של האצה לגדול במים המלוחים שהריכוז האוסמוטי שלהם גבוה נובע מכך שבתאיה נאגר גליצרול המעלה את ריכוז המומסים בתא אך אינו פוגע בתהליכי החיים של האצה.

### ■ סיכום הפרק

1. תפרוסת טיפוסית הצומח על פני כדור הארץ נקבעת על פי עצמת הקרינה של השמש ומושפעת מגורמים א־ביוטיים, כמו משקעים וטמפרטורה.
2. ריבוי הגורמים המשפיעים על האורגניזמים ועל המערכת האקולוגית יוצר תמונה מורכבת ולמעשה אין אפשרות לדון בגורם אחד בלי לבחון את ההשפעה של גורמים אחרים. יתרה מכך, הגורמים הא־ביוטיים משפיעים זה על זה, וכמו כן הגורמים הביוטיים משפיעים על גורמים א־ביוטיים.
3. המים הם מרכיב בגופם של האורגניזמים, הם משתתפים בתהליכים בתאים ומובילים חומרים מומסים ותאי רבייה. ביבשה המים הם גורם מגביל; האורגניזמים חשופים לסכנת התייבשות ויש להם התאמות מבנה, התאמות פיזיולוגיות־ביוכימיות והתאמות התנהגותיות לשמירה על מאזן מים תקין. הגורם המגביל במים הוא החמצן, אך עם זאת המים הם בית גידול נוח.
4. קרינת השמש כוללת: קרינה על־סגולה, קרינת חום וקרינת אור. הקרינה העל־סגולה עלולה לפגוע בתאים ובחומר התורשתי, אך תורמת ליצירת שכבת האוזון המגנה מפניה. קרינת החום מחממת את האטמוספירה.
5. קרינת האור היא מקור האנרגיה לפוטוסינתזה, ולפיכך היא גם מקור האנרגיה הראשוני לרוב המערכות האקולוגיות בכדור הארץ. האור הוא גם אות סביבתי המשפיע על תהליכי רבייה והתפתחות בצמחים ובעלי חיים.
6. החמצן הוא מגיב חיוני בתהליך הפקת האנרגיה בנשימה התאית. בסביבה המימית החמצן הוא גורם מגביל. מהחמצן נוצר האוזון המגן מפני קרינת UV.
7. הפחמן הדו־חמצני הוא מקור הפחמן לפוטוסינתזה, למרות ריכוזו הנמוך באוויר. CO<sub>2</sub> הוא "גז חממה" התורם להתחממות האטמוספירה.
8. תהליכי החיים באורגניזמים יכולים להתקיים רק בטווח הטמפרטורות שבהם המים במצב נוזלי. תהליכים באורגניזמים מושפעים מהטמפרטורה בסביבה, משום שהאנזימים והחלבונים בתאים פעילים בטווח צר יחסית של טמפרטורות: פעילותם גוברת עם עלייה מסוימת בטמפרטורות, אך בטמפרטורות גבוהות (מעל 50°C) מבנה החלבונים משתנה והם אינם יכולים לפעול. רק מינים מעטים של אורגניזמים מסוגלים לחיות בתנאי טמפרטורה קיצוניים.

9. רבות מההתאמות למשאבים מגבילים, כמו מים, אור וחמצן, וגם לתנאי טמפרטורה שונים מבוססות על העיקרון של הגדלת שטח הפנים של האיבר יחסית לנפח האיבר – עלים, זימים, יונקות.
10. הרוח מסייעת בהפצת נבגים, גרגרי אבקה וזרעים ומסייעת לנדידת עופות ולמעוף חרקים. היא מגבירה את הדיות בצמחים ומשפיעה על טמפרטורת הגוף.
11. הקרקע מורכבת מחומרים אורגנים ואנאורגנים ויש בה גם אוויר ומים. גודל החלקיקים בקרקע קובע את המרקם שלה ואת משק המים. הקרקע היא משאב חשוב לחקלאי. הרכב הקרקע ותכונותיה משפיעים על הגידולים החקלאיים שניתן לגדל בה. הקרקע היא בית גידול לאורגניזמים רבים התורמים להרכבה ולאווירה וגם מקום תאחיזה לשורשי הצמחים.
12. המורכבות הרבה של הגורמים בכל בית גידול וריבוי צירופי התנאים הם היוצרים את העושר העצום של בתי הגידול בעולמנו. בכל אחד מהם התפתחו חברות של אורגניזמים המותאמים לצירוף המסוים של התנאים השוררים בו. גם בבתי גידול שבהם התנאים מאוד קיצוניים (טמפרטורה גבוהה מאוד או נמוכה מאוד, מליחות וכדומה) חיים אורגניזמים בעלי התאמות ייחודיות לתנאים אלה.

#### ■ מושגים חשובים

אוזון	יחס שטח פנים לנפח (עלה, זימים, שורשים)
אוסמוזה	מים מטבוליים
אור: מקור אנרגיה ואת סביבתי	מים: תכונותיהם וחשיבותם
אנרגיה: אור, חום.	נשימה תאית
בועית מתכווצת	פוטוסינתזה
גורם מגביל	פוטופריודיות
גורמים א-ביוטיים	פויקילותרמים (אקטותרמים)
גורמים ביוטיים	פיוניות
גז חממה, אפקט חממה	קרינת השמש (על-סגולה, אור נראה, תת-אדומה)
גיאופיטים	קרקע: קלה, כבדה
דיות	קרקע, חלקיקים: סילט, חול, חרסית;
הומאוסטאזיס	קרקע, משק המים: נקודת כמישה וקיבול שדה
הומאותרמים (אנדותרמים)	קרקע: הרכב ותכונות (מרקם, חומציות ומליחות)
התאמה (מבנה, פיזיולוגית-ביוכימית, התנהגותית)	קרקע: מצע גידול, כבית גידול
חד-שנתי	רוח
חילוף הגזים בנשימה ובפוטוסינתזה	שתנן
טיפוסי צומח	
טמפרטורה מיטבית (אופטימלית)	
יונקות	

# ג

הגורמים הביוטיים:  
ארגון ותהליכים בחברה



## מבט על הפרק

פרק ג עוסק בתהליכים המתרחשים ברמת הארגון של החברה אם כי התהליכים הביוכימיים כגון פוטוסינתזה, נשימה תאית וקיבוע חנקן מתרחשים ברמת הארגון של התא. הדיון הנפרד בארגון החברה ובתהליכים המתרחשים בה נובע מכך שסביר להניח שהרעיון של יחסי הזנה בין האורגניזמים והמושגים שרשרת מזון, מארג מזון, יצרנים וצרכנים תיאוריים ומוחשיים יותר וייתכן שהם מוכרים לתלמידים. אם מתעורר ספק אפשר לבדוק את רמת הידע הקודם של התלמידים בנושאים אלה (ראו עמוד מ-9). לעומתם, התהליכים שבהם עוסק הפרק (סעיף ג-4) הם תהליכים ביוכימיים המתרחשים בתאי האורגניזמים. אמנם אין מדובר בירידה לפרטים ביוכימיים אך חשוב להבין את העקרונות שעליהם מתבססים תהליכים אלה. פועל יוצא מכך הוא ההכרח לעסוק בכמה רמות ארגון בו־זמנית – התא, האורגניזם והמערכת האקולוגית – וגם לעבור בין רמות הארגון לפי העניין. כדאי לזכור שהגורמים האי־ביוטיים (שנדונו בהרחבה בפרק ב) משפיעים על שיעוריהם של התהליכים הנדונים בפרק ג וגם מושפעים מהם. שני חוקים בסיסיים להבנה של הנושאים בפרק ג הם חוק שימור החומר וחוק שימור האנרגיה. בנספח (עמודים 171–176) יש סעיף העוסק באנרגיה ובחוקי התרמודינמיקה וכדאי לחזור לסעיף זה לקראת הלימוד של פרק ג.

הקשר בין הארגון לבין התהליכים בחברה מוצג במפת המושגים שלהלן:



# ג הגורמים הביוטיים: ארגון ותהליכים בחברה



## ג1. גורמים ביוטיים: פרטים, אוכלוסייה וחברה

כלל האורגניזמים מהווים את הגורמים הביוטיים בבית הגידול. הגורמים הביוטיים משתייכים לכמה רמות ארגון: כל הפרטים של מין מסוים החיים באותו אזור בזמן מסוים הם אוכלוסייה. כמה אוכלוסיות של מינים שונים החיות זו לצד זו בבית הגידול מהוות ביחד חברה (איור ג-1) שאחד ממאפייניה הוא מגוון המינים. החברה וסביבתה הפיזית מהווים ביחד מערכת אקולוגית.



איור ג-1: חברה

בפרק ב עסקנו ברמת הארגון של הפרט: התאמות של פרטים לתנאים ולמשאבים בבית הגידול. בפרק זה נעסוק ברמות הארגון של החברה ושל המערכת האקולוגית. חשוב להבין שככל שעולים ברמת ארגון, נגלות תופעות שאין אפשרות לצפותן וללמוד עליהן מחקירת רמת ארגון נמוכה יותר, למשל: חקירת אורח חייו של פרט מסוים אינה מספיקה כדי להבין תופעות ותהליכים, כמו שיעורי ילודה ותמותה בקבוצה גדולה של פרטים כאלה, כלומר באוכלוסייה. כמו כן, מה שניתן ללמוד על אוכלוסייה מסוימת אין בו די להבנת תהליכים בחברה ובמערכת האקולוגית, כמו העברת אנרגיה ושינויים המתרחשים בה לאורך זמן.



השיח והציפורים שעליו מהווים חברה



רמות ארגון של גורמים ביוטיים, ראו בפרק א, איור א-1.

## ג2. המשאבים הנחוצים לגורמים הביוטיים

כפי שראינו בפרק הקודם, אורגניזמים מתקיימים במגוון של תנאי סביבה, אף בקיצוניים שבהם. יתר על כן, רובם מותאמים לסביבה שהם חיים בה, כלומר לגורמים האביוטיים והביוטיים המאפיינים אותה. את המגוון הגדול של אורגניזמים המתקיימים בסביבות שונות מאפיין "מכנה משותף" והוא הצורך בשני משאבים לקיומם:

1. מקור אנרגיה לביצוע פעולות החיים כגון: בניית תרכובות והעברתן ממקום למקום באורגניזם (אל התא וממנו, בין אברים בגוף), בניית מרכיבי תא (קרום התא ואברונים), חלוקת תאים, גדילה ותנועה.

2. חומרים שונים המשמשים לבנייה, לגידול ולהתרבות וכמקור אנרגיה לפעולות החיים:

- **תרכובות פחמן אורגניות:** תרכובות הבנויות מהיסודות פחמן (C) ומימן (H) ולרוב כוללות גם חמצן (O) ויסודות נוספים, כמו חנקן (N), זרחן (P) וגופרית (S). פחמימות, שומנים, חלבונים וחומצות גרעין הן תרכובות אורגניות. לחלק מהתרכובות האורגניות תפקיד כפול: הן משמשות לבניית גופם של האורגניזמים וגם כמקור אנרגיה לפעולותיהם.
- **חומרים אנאורגניים (מינרלים):** יסודות ותרכובות, כגון: אשלגן (K), סידן (Ca), זרחן (P), ברזל (Fe).
- **מים:** גם המים הם חומר אנאורגני, אך בשל חשיבותם הרבה הם מצוינים בסעיף נפרד.



המושגים מזון, חומר אורגני ואנרגיה. ראו בנספח: מושגי יסוד.



ביולוגיה של האדם: המזון כמקור החומרים לבנייה ולהפקת אנרגיה.



חשיבות המים ראו בפרק ב, סעיף 2ב.



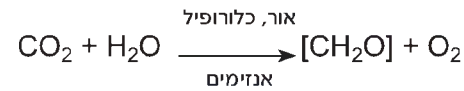
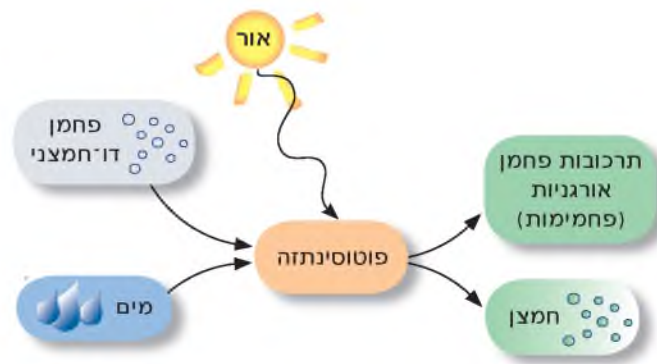
## מקורות האנרגיה והחומרים: דרכי הזנה

מאין וכיצד מקבלים האורגניזמים את המשאבים השונים שהם זקוקים להם?

לתהליך שבו מקבלים האורגניזמים תרכובות פחמן אורגניות, מים ומינרלים קוראים בשם **הזנה**. על פי דרך ההזנה מחלקים את האורגניזמים לשתי קבוצות: **אוטוטרופים והטרוטרופים**.

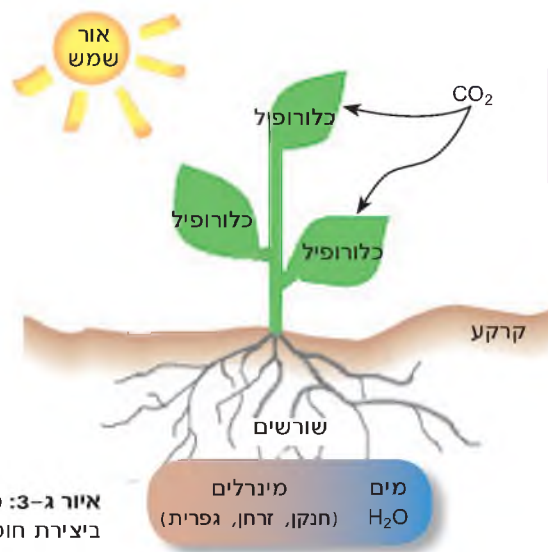
### ■ הזנה אוטוטרופית

לאורגניזמים האוטוטרופים (אוטו=עצמי, טרופי=ניזון) דרך מיוחדת להשגת אנרגיה ולקבלת תרכובות פחמן אורגניות: הם מרכיבים בעצמם תרכובות פחמן אורגניות משתי תרכובות אנאורגניות שהם קולטים מסביבתם – פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>) ומים (H<sub>2</sub>O). פעולה זו נעשית בתהליך ה**פוטוסינתזה** (פוטו=אור, סינתזה=הרכבה) בעזרת אנרגיית אור (איור ג-2). הצמחים הירוקים הם הקבוצה המוכרת לכם ביותר של אורגניזמים המבצעים פוטוסינתזה. כדאי לדעת, שפוטוסינתזה מתקיימת גם באצות חד-תאיות ורב-תאיות החיות באגמים ובימים ובקבוצות מסוימות של חיידקים.



איור ג-2: נוסחה וסכימה של פוטוסינתזה

תוצרי הפוטוסינתזה – תרכובות פחמן אורגניות כמו סוכרים – משמשים כ"שלד" לבניית כל שאר התרכובות האורגניות כגון שומנים וחלבונים, הבנות את גוף הצמח. בתהליך בנייה זה משתתפים המים ומינרלים שונים (כגון: חנקן וזרחן) שהצמח קולט אותם יחד עם המים דרך השורשים מהקרקע (איור ג-3). תוצר חשוב נוסף של הפוטוסינתזה הוא החמצן המשמש לנשימה התאית האווירנית של רוב האורגניזמים.



איור ג-3: כל הגורמים המשתתפים ביצירת חומרים אורגניים בצמח

שני המשאבים (ה"מכנה המשותף") הנחוצים לכל האורגניזמים הם דוגמה לאחידות בטבע.

דרכי ההזנה השונות הן ביטוי לשונות בטבע.

ההזנה העצמית המשתמעת מהמושג אוטוטרופ נוגעת רק לחומרים האורגניים ולא לחומרים האנאורגניים שהצמח קולט מסביבתו.

פרטי תהליך הפוטוסינתזה לא הורחבו כאן משום שהדגש הוא על חשיבותו כדרך הזנה של אוטוטרופים.

**תפיסה שגויה:** "הצמח מקבל את מזונו מהקרקע". איור ג-3 מדגיש את המקורות השונים של החומרים (כולם אנאורגניים!) שמהם הצמח מייצר את החומרים האורגניים.

**עוד על**  
אור וחמצן ראו בפרק ב, סעיפים 33, 41.

המושג כימו־אוטורופים לא כלול בתכנית הלימודים בנושא אקולוגיה אך כלול בנושא מיקרואורגניזמים.

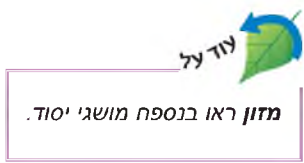
המערכת האקולוגית שנחשפה בשנת 2006 במערת איילון מבוססת על חיידקים כימו־אוטורופים (על"ב, 175, עמוד 45).

**הרחבה: הזנה אוטורופית – עם אור וללא אור**

האורגניזמים המבצעים פוטוסינתזה – צמחים, אצות וחיידקים מסוימים, הם פוטו־אוטורופים. בקרב החיידקים ישנם כאלה המייצרים תרכובות אורגניות מ- $CO_2$ , אך הם אינם משתמשים באור כמקור אנרגיה להרכבת החומרים האורגניים. מקור האנרגיה של חיידקים אלה הוא תרכובות אנאורגניות מחוזרות המצויות בסביבתם כגון: אמוניה ( $NH_3$ ), מתאן ( $CH_4$ ), מימן גופרי ( $H_2S$ ). חמצון של תרכובות כאלה מספק את האנרגיה ואת המימן (H) הדרושים לחיזור הפחמן ולהרכבת התרכובות האורגניות מ- $CO_2$ . חיידקים אלה הם חיידקים כימו־אוטורופים.

■ **הזנה הטורופית**

הדרך המוכרת לכולנו לקבלת חומרים ואנרגיה היא מה**מזון**, כלומר **אכילת אורגניזמים אחרים** (או חלקיהם) ושתיית מים. בני האדם אוכלים, בין השאר, לחם העשוי מקמח של זרעי צמח החיטה, הציפורים ניזונות מזרעים, מפירות ומחרקים קטנים, הפרות ניזונות מעשבים בשטחי המרעה, נחש אוכל עכברים. אכילת אורגניזמים אחרים ושתיית מים היא צורת הזנה ה**טורופית** (הטרו=אחר, טרופי=ניזון), כלומר: המזון של האורגניזמים ההטורופים הוא תרכובות פחמן אורגניות וחומרים אחרים המרכיבים את גופם של האורגניזמים הנאכלים על ידם.



**מזון** ראו בנספח מושגי יסוד.

**על מושגים: מזון ודרכי הזנה – למה מתכוונים?**

"מזון" – מילה שאנחנו משתמשים בה תדירות בשפת היומיום: אנחנו קונים מזון בשוק ובמרכול ונהנים ממנו בארוחותינו. בספר זה נתייחס ל"מזון" במשמעותו הרחבה: **כלל החומרים המשמשים כמקור לחומרים לבניית הגוף ולהפקת אנרגיה.** על פי הגדרה זו האוטורופים מייצרים בעצמם **חלק** ממזונם, וחלק אחר – המים והמינרלים (הזנה מינרלית) – הם קולטים מסביבתם.



כבשים



פטריות עובש על תפוז



פטריות



זחל של רפרף

הטורופים

טבלה ג-1 מסכמת את מה שלמדנו עד כה על אוטוטרופים והטרוטרופים.

טבלה ג-1: מקורות האנרגיה ומקורות החומרים של אוטוטרופים והטרוטרופים

הטרוטרופים	אוטוטרופים	
	פוטו-אוטוטרופים: צמחים, אצות, חיידקים	כימו-אוטוטרופים: חיידקים
בעלי חיים (כולל בני אדם), פטריות, חיידקים	אור השמש	חמצון תרכובות אנאורגניות כגון H <sub>2</sub> S (מימן גופרי), CH <sub>4</sub> (מתאן), NH <sub>3</sub> (אמוניה).
מקור אנרגיה ראשוני לייצור תרכובות אורגניות מתרכובות אנאורגניות	חומרים אנאורגניים: CO <sub>2</sub> , מים ומינרלים מהסביבה (מהאוויר, מהקרקע ומהמים).	לא נחוץ כי לא מייצרים תרכובות אורגניות מתרכובות אנאורגניות.
חומרי הגלם לייצור חומרים אורגניים לגדילה ולהתרבות	תרכובות פחמן אורגניות, תרכובות אנאורגניות מהסביבה (מזון, שאריות ופסולת אורגניזמים) ומים.	מקור אנרגיה להפקת ATP לביצוע פעולות החיים
	תרכובות פחמן אורגניות	

שימו לב להבחנות חשובות שעולות מהטבלה:

1. ייחודם של האורגניזמים האוטוטרופים הוא בכך שהם מנצלים לייצור החומרים האורגניים מקור אנרגיה (אור או חמצון תרכובות אנאורגניות) וחומר אנאורגני (CO<sub>2</sub>), שהטרוטרופים אינם יכולים להשתמש בהם.
2. תרכובות הפחמן האורגניות משמשות להטרוטרופים גם כמקור אנרגיה וגם כאבני בניין לתרכובות הדרושות לבניית הגוף.
3. כל האורגניזמים, גם האוטוטרופים וגם הטרוטרופים, מפיקים ATP לפעולות החיים מחמצון תרכובות אורגניות בנשימה התאית האווירנית ו/או בתהליכים אל-אווירניים כמו תסיסה.

**תרכובות אורגניות** כמו שומנים וחלבונים יכולות להשתנות לפחמימות ולהיפך, ולכן הטרוטרופים יכולים לייצר מהחומרים השונים במזונותיהם את כל חומרי גופם. לעומת זאת, יסוד, כגון חנקן, לא יכול להפוך ליסוד אחר כגון זרחן או חמצן.

**רעיון מרכזי: האחידות בטבע**  
בצד השוני: על אף ההבדלים המהותיים בין אוטוטרופים לבין הטרוטרופים (סעיפים 1 ו-2) יש בכל זאת משהו משותף (סעיף 3): מקור האנרגיה לפעילויות התא הוא ATP (וחומרים נוספים כמו GTP).

### 3. ארגון אוכלים ונאכלים בבית הגידול

#### יצרנים, צרכנים ומפרקים

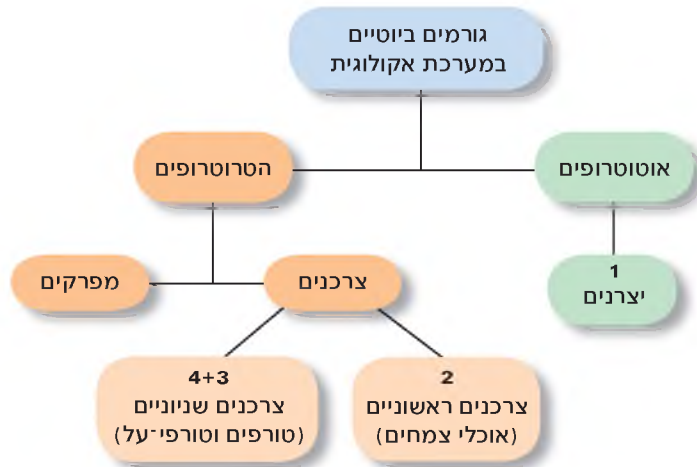
הצורך במקור אנרגיה ובחומרים משפיע על יחסי הגומלין בין האורגניזמים (הגורמים הביזויים) ומהווה את הבסיס להבנה של ארגון החברה בבית הגידול ושל התהליכים המתרחשים בו. מהתבוננות בטבע קשה לעמוד על הארגון הקיים בו; העצים, השיחים והעשבים הגדלים בחורש ובעלי החיים המתרוצצים עליהם וביניהם יוצרים רושם של אי-סדר ואקראיות לכאורה. אולם השוני המהותי בדרכי ההזנה מכתוב קשרי הזנה בין האורגניזמים – בין האוכלים לבין אלה המשמשים להם כמזון.

האוטוטרופים הם **היצרנים** בבית הגידול, משום שהם מייצרים את החומרים האורגניים הנצרכים על ידם ועל ידי כל שאר האורגניזמים. מכאן נובע, שהקיום של כל הטרוטרופים תלוי באוטוטרופים.

ההטרוטרופים צורכים חומרים אורגניים מוכנים והם נחלקים לשתי קבוצות: **צרכנים ומפרקים**. גם הצרכנים נחלקים לשתי תת-קבוצות: **צרכנים ראשוניים** הם אלו הניזונים מצמחים בלבד ו**צרכנים שניוניים** הם אלו הניזונים מאכילת (מטריפת) בעלי חיים בעודם חיים או לאחר מותם.

**תפיסה שגויה 11 ראו**  
טבלה בעמוד מ-11.

הצעה לדיון: חברת בני האדם מכונה לעתים "חברה צרכנית". מה משמעות המושג צרכן בהקשר זה?



איור ג-4: מיון אורגניזמים לפי דרך ההזנה (המספרים מתייחסים לרמות הזנה, ראו בעמוד 80)

המפרקים פועלים בעיקר בקרקע, שם הם מפרקים את החומרים האורגניים בהפרשות ובשאריות של אורגניזמים שמתו. באיור ג-4 מתואר הקשר בין דרך ההזנה לבין יצרנים, צרכנים ומפרקים.

המפרקים גם הם צורכים תרכובות אורגניות מוכנות, אך הם ייחודיים בתהליך שבו הם מקבלים או קולטים את התרכובות האורגניות. אצל צרכנים המזון מוכנס לתוך הגוף. כך הדבר אצל הסנדלית, האמבה, השלשול, החרקים למיניהם, הדגים, הזוחלים והאדם. בתוך הגוף עובר המזון תהליכי עיכול: פירוק אנזימתי למולקולות קטנות, כגון: חדי-סוכרים וחומצות אמיניות. המולקולות הקטנות מועברות לתאים ושם הן משמשות לבניין ולהפקת אנרגיה.

לעומת זאת המפרקים (החיידיקים והפטריית) מפרשים אנזימים לסביבתם ואלה מסייעים לפירוק החומרים האורגניים. מקצת תוצרי הפירוק, מולקולות אורגניות

קטנות ומסיסות, נספגים אל תוך גופם של המפרקים (בדומה לתוצרי העיכול בצרכנים) ומשמשים להם כמקור אנרגיה וכמקור של תרכובות פחמן. תוצרי פירוק אחרים, למשל חומרים אנאורגניים (מינרלים), נשארים בסביבה ומנוצלים על ידי האורגניזמים החיים בקרקע או על ידי הצמחים הקולטים אותם דרך השורשים. בדרך זו ממחזרים המפרקים חומרים רבים, ויש להם תפקיד חשוב ביותר במחזורי החומרים בטבע (עמוד 91).



ביולוגיה של האדם: מערכת העיכול.

**שימו לב:**

אין לשכוח, שלא רק המפרקים אלא כל האורגניזמים, לרבות היצרנים והצרכנים, מפרקים חומרים אורגניים בנשימה התאית ומפרישים חומר אנאורגני לסביבה - פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>).

איור ג-4: ההבדל בין דרכי ההזנה לבין התפקוד במערכת האקולוגית: יש שתי דרכי הזנה עיקריות אך להטרוטרופים יש תפקודים מגוונים במערכת האקולוגית.

**שאלה ג-1** תשובה בעמוד מ-46



האם מערכת מלאכותית (לדוגמה: אקווריון) שכל אוכלוסיותיה הן צרכנים יכולה להתקיים לאורך זמן? נמקו.

**שרשרת מזון, מארג מזון ופירמידות אקולוגיות**

הצרכנים והמפרקים בבית הגידול תלויים ביצרנים ותלויים אלו באלו לאספקת החומרים והאנרגיה הדרושים לקיומם. את יחסי התלות בין היצרנים, הצרכנים והמפרקים בבית הגידול אפשר לייצג בשתי דרכים:

1. ייצוג איכותי באמצעות שרשרת מזון ומארג מזון
2. ייצוג כמותי באמצעות פירמידות אקולוגיות

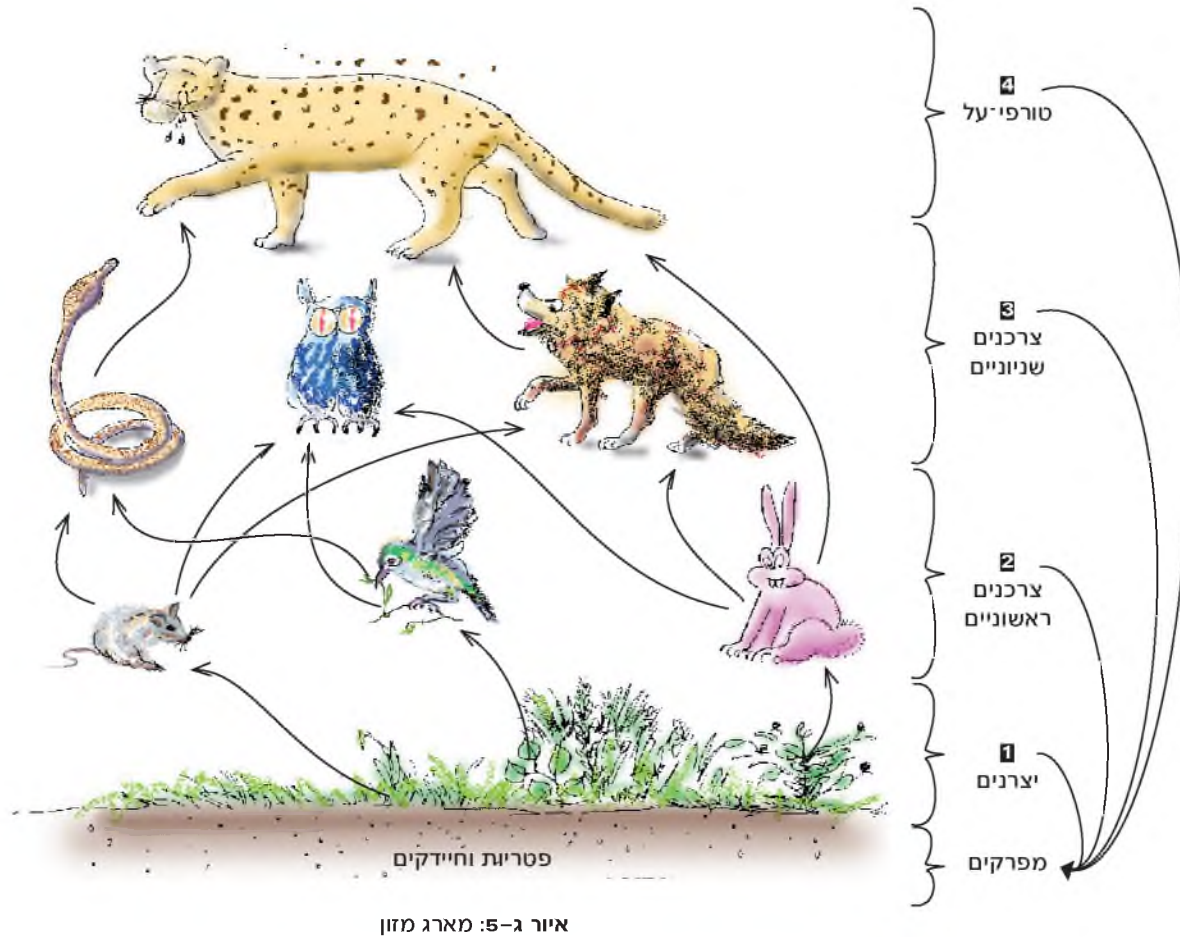
■ **ייצוג איכותי: שרשרת מזון ומארג מזון**

בשרשרת המזון ובמארג המזון מיוצגים האורגניזמים האוכלים והנאכלים בשמותיהם וכך אפשר לראות "מי אוכל את מי" במערכת האקולוגית הנחקרת.



שרשרת מזון

בשרשרת מזון מיוצג רצף אחד של אוכלים ונאכלים. אלא שבמציאות הקיימת במערכות אקולוגיות רבות המצב מורכב יותר: יש אורגניזמים האוכלים יותר מסוג אחד של מזון, ויש המשמשים טרף ליותר מסוג אחד של טורפים. מארג מזון מציג את מכלול יחסי הגומלין המורכבים בין אוכלים לבין נאכלים בבית הגידול (איור ג-5).



שאלה ג-2 תשובה בעמוד מ-46 רשמו את שרשרת המזון המייצגת משק חקלאי המבוסס על גידול פרות לבשר ולחלב במרעה טבעי.

חוקרים אקולוגיה: מארג המזון בכינרת

אגם הכינרת הוא מאגר המים הגדול של מדינת ישראל, מוקד תיירותי ומשאב כלכלי של הדייגים. בקרבת האגם פועלת המעבדה לחקר הכינרת, וחוקריה עוקבים במשך שנים אחר השינויים המתחוללים במאפיינים הביולוגיים והא־ביוטיים של האגם. מארג המזון בכינרת הוא מורכב וכולל דגים (כמו סרדין הכינרת, אמנון הגליל ואמנון הכינרת), זואופלנקטון (כמו: גלגליות, ריסניות וסרטנים קטנים כמו דפניה), פיטופלנקטון (כמו אצת הפירידיניום) וחיידקים (איור ג-6).



אגם הכינרת



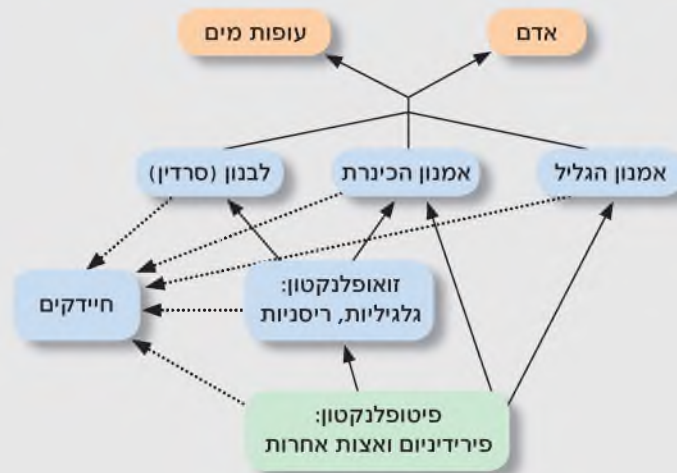
פירידיניום (מוגדל בערך פי 600)

זואופלנקטון: ריסניות הן חד־תאיות. גלגיליות הן תולעים רב־זיפיות.

למה "קטע ממארג"?  
המארג באיור ג-6 מציג רק קטע ממארג משום שאדם ניזון לא רק מדגים וכך גם עופות המים. כמו כן יש במים אורגניזמים אחרים כמו תולעים וסרטנים.  
ראו גם: פריחת אצות בכינרת – הזמנה לחקר. על"ב, 151, 41-42.

**על מושגים**

האורגניזמים הזעירים הצפים במים או שוחים בהם נחלקים לשתי קבוצות: **זואופלנקטון**: בעלי חיים זעירים אוכלי צמחים או טורפים, **פיטופלנקטון**: אצות המבצעות פוטוסינתזה.



איור ג-6: קטע ממארג מזון בכינרת

באיור זה לא באים לידי ביטוי השינויים העונתיים המתרחשים במארג המזון שבאגם במהלך שנה. לדוגמה: באביב גדלה מאוד כמות האצות מסוג פירידיניום, ובעונה זו הן משמשות מקור מזון עיקרי של אמנון הגליל.

**חוקרים אקולוגיה: מארג מזון בנגב**

באיור ג-7 מוצג מארג מזון שנחקר בנגב. המארג כולל טורפים, מכרסמים וחלזונות מסוגים שונים הניזונים מצמחים, מאצות ומחזיות.



נחש



שועל



גרביל



חלזון



איור ג-7: קטע ממארג מזון בנגב



**שאלה ג-3 תשובה בעמוד מ-46**

א. איך ישפיע דיג רב מאוד על הזואופלנקטון ועל החיידקים בכנרת? נמקו על סמך איור ג-6.  
 ב. במחקר שנערך בנגב (איור ג-7) הכינו למכרסמים מסתור המגן עליהם מפני טורפיהם. איך לדעתכם השפיע הדבר על מרכיבים אחרים במארג? הסבירו.

**תפיסה שגויה 16 ראו**  
 טבלה בעמוד מ-11.

**■ ייצוג כמותי: פירמידה אקולוגית של רמות הזנה**

ניתן לשייך את האורגניזמים במארג מזון ל**רמות הזנה** אחדות (איור ג-5 עמוד 80).  
**היצרנים** (האוטוטרופים) הם הבסיס של מארג המזון והם מהווים את רמת ההזנה הראשונה (רמת הזנה 1). אורגניזמים הניזונים מצמחים בלבד הם **צרכנים ראשוניים** ומהווים את רמת ההזנה השנייה (רמת הזנה 2). בעלי חיים טורפים הניזונים מבעלי חיים אחרים (בדרך כלל קטנים מהם) הם **צרכנים שניוניים** ומהווים את רמת הזנה השלישית. ברמת ההזנה הרביעית נמצא את הקבוצה האחרונה של הצרכנים – **טורפי-על**. טורפי-על נקראים כך משום שאין בעלי חיים הטורפים אותם. בטבלה ג-2 מובאות דוגמאות לאורגניזמים ברמות הזנה שונות.

רמות ההזנה הן פירוט נוסף של התפקוד במערכת האקולוגית: צרכנים משתייכים לכמה רמות הזנה.

**תפיסה שגויה 10 ראו**  
 טבלה בעמוד מ-11.

**על פי הכתוב לעיל ניתן להגדיר רמת הזנה:**

קבוצת אורגניזמים המקבלים/משיגים את מזונם, ישירות או בעקיפין, מהיצרנים במספר שלבים זהה. לפי הגדרה זו כל בעלי החיים הניזונים מצמחים בלבד (מיצרנים) שייכים לאותה רמת הזנה – צרכנים ראשוניים (רמת הזנה 2).

השימוש במושג **רמת הזנה** לתיאור מערכות אקולוגיות הוצע על ידי החוקר לינדמן (Lindeman) בשנת 1942. חשוב לשים לב לכך שאפשר לשייך מינים רבים ליותר מאשר רמת הזנה אחת. דוגמה בולטת לכך היא האדם הניזון ישירות מצמחים, אך גם מבעלי חיים (רמות הזנה 2+3). דוגמה אחרת היא החד-תא "עינן ירוק" (Euglena), הניזון על פי תנאי הסביבה גם בדרך אוטוטרופית (רמת הזנה 1) וגם בדרך הטרוטרופית (רמת הזנה 2).



"באיזו רמת הזנה אני נמצא?"

**תפיסה שגויה 14 ראו**  
 טבלה בעמוד מ-11.

טבלה ג-2: דוגמאות לאורגניזמים ברמות הזנה שונות

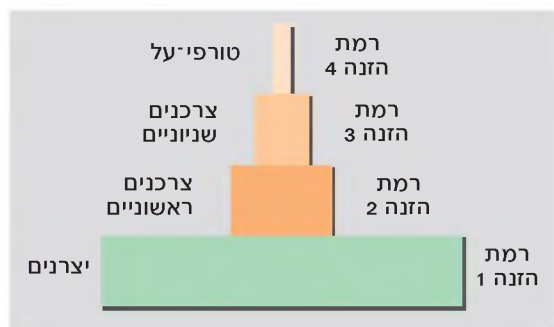
דוגמאות	רמת הזנה
הצמחים הירוקים, האצות והחיידקים הפוטוסינתטיים	1. יצרנים
צמחים טפילים חרקים: חגב זוחלים: צב עופות: בולבול, צופית יונקים: צבי, אייל, פרה, גמל, כבשה	2. צרכנים ראשוניים - אוכלי צמחים בלבד
פרוקי רגלים: עכבישים, חגבים, עקרבים, מיני סרטנים דו-חיים: צפרדע זוחלים: זיקית, נחש עופות: עורבני, שקנאי יונקים: כלב ים, תן, כלב, שועל	3. צרכנים שניוניים - אוכלי בעלי חיים
זוחלים: תנין עופות: נשר, נץ יונקים: אריה, נמר, לווייתן	4. טורפי-על



שיוך המרכיבים הביזויים במערכת האקולוגית לרמות הזנה מדגים עיקרון חשוב ביותר: קיומה של חברת האורגניזמים בבית גידול מסוים תלוי בחומרים האורגניים המיוצרים על ידי היצרנים – האוטוטורפים והם מהווים את הבסיס לחברה בבית הגידול. חומרים אלו משמשים ראשית לכל את היצרנים עצמם, אך גם את כל הטורטורפים הניזונים מהם. כך גם לגבי המזון הנאכל על ידי הצרכנים אוכלי הצמחים (הטורטורפים): הוא משמש ראשית לכל את אוכלי הצמחים, אך לאחר מכן גם את הטורפים הניזונים מהם וכך הלאה. לפיכך כמות החומרים האורגניים המיוצרת על ידי היצרנים צריכה לספק את צורכי כל האורגניזמים הניזונים מהם במישרין או בעקיפין בכל רמות ההזנה.

שאלה עם חיוך: מה תשיבו לפרה?

תפיסה שגויה? 10 ראו טבלה בעמוד מ-11.



איור ג-8: פירמידה אקולוגית המייצגת את הביזויים ברמות ההזנה במערכת אקולוגית יבשתית

אם נסרטט את כמות החומרים בכל רמת הזנה בבית גידול מסוים, תתקבל צורה של פירמידה שבבסיסה הוא כמות החומרים (הביזויים) ברמה ההזנה הראשונה: היצרנים (איור ג-8).

גודלה של כל מדרגה בפירמידה של ביזויים מייצג את כמות החומרים האצורים ברמת הזנה אחת והיא מבוטאת ביחידות של המשקל היבש של החומר האורגני ליחידת שטח (גר/מ"ר). ברוב המערכות האקולוגיות היבשתיות הביזויים של היצרנים ברמת הזנה 1 היא הגדולה ביותר. הביזויים של הצרכנים קטנה מזו של היצרנים, וככל ש"עולים" ברמות ההזנה בפירמידה, הביזויים הולכת וקטנה וכך מתקבלת צורת פירמידה.

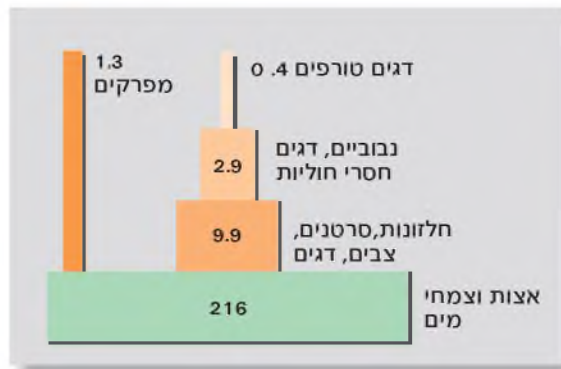
איור ג-8: ברוב המערכות האקולוגיות הפירמידה כוללת 3-6 רמות הזנה. אחד הגורמים המגבילים את מספר רמות ההזנה הוא היעילות של העברת האנרגיה והחומרים מרמה לרמה. נתון מקובל הוא שרק 10% מהביזויים של רמה אחת זמינים לרמה הבאה אחריה.

למה המפרקים לא מיוצגים בדרך כלל בפירמידה? ראו בעל"ב, 151, עמוד 94.

מה מקומם של המפרקים בפירמידה האקולוגית? לאיזו רמת הזנה נכון לשייך אותם?

בפירמידה האקולוגית המוצגת באיור ג-8 נפקד מקומם של המפרקים, על אף חשיבותם הרבה. הסיבה לכך היא שקשה מאוד לתת להם ייצוג הולם: הם נמצאים בכל מקום ומפרקים את כל השאריות שלא נאכלו בכל אחת מהרמות. מספרם הוא גדול מאוד, ולמעשה אין יודעים כמה מהיצורים הזעירים האלה פועלים בבית הגידול, ומהי הביזויים שלהם. פתרון מסוים לייצוג המפרקים מוצג באיור ג-9: הם מיוצגים כקו רצוף שמלווה את כל רמות ההזנה שמעל ליצרנים.

איור ג-9: אינו בקנה מידה מדויק.



איור ג-9: פירמידה של ביזויים בבית גידול לח (בפלורידה ארה"ב). הערכים מבוטאים בגרם למ"ר.



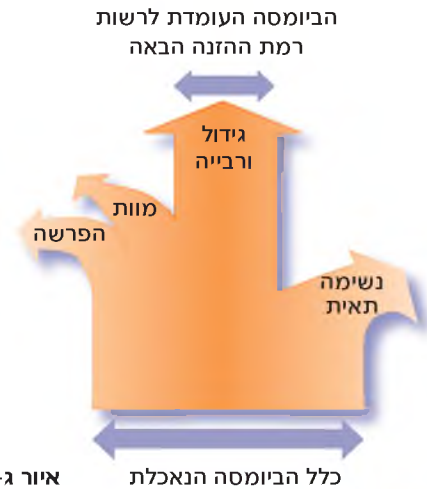


**מדוע קטנה הביומסה ככל שעולים ברמות ההזנה/בפירמידה?**

צורת הפירמידה נובעת מהעובדה שכל אורגניזם משתמש בחומרים שהוא מייצר או אוכל קודם כל לצרכיו הוא: להפקת האנרגיה הדרושה לו (בנשימה התאית), לגידול ולהתרבות. התרכובות האורגניות שחומצנו בתהליך הנשימה בתא ל- $CO_2$  (שנפלט לאוויר) ולמים אינן עומדות לרשות הצרכנים ברמת ההזנה הבאה. גם החומרים האורגניים שהופרשו בצואה ובשתן של בעלי חיים, או ענפים שמתו ועלים שנשרו לקרקע ומפורקים לאחר זמן על ידי המפרקים – כל אלה אינם עומדים לרשות הצרכנים ברמת ההזנה הבאה.

לפיכך, אם נבחן מה קורה לחומרים שאכלה הפרה, נראה שלא כל החומרים האורגניים בעשב שהיא אכלה במהלך חייה עומדים לרשות האדם הניזון מבשרה או מחלבה. מקצת החומרים שהפרה אכלה שימש לנשימתה, ומקצתם הופרש כפסולת (שתן, צואה).

באופן זה רק חלק מהחומרים שיוצרו (על ידי היצרנים) או שנאכלו (על ידי הצרכנים) עומדים לרשות רמת ההזנה הבאה, כפי שאפשר לראות באיור ג-10.

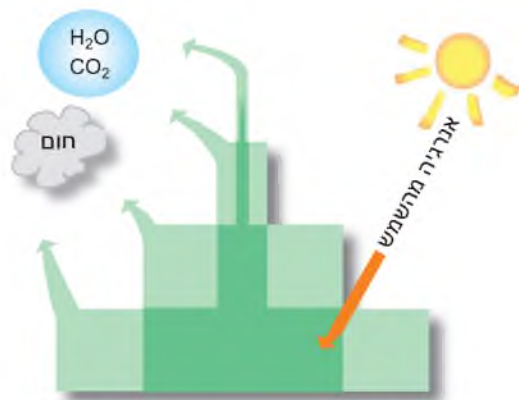


איור ג-10: מה קורה לחומרים שאכלה הפרה?

תפיסה שגויה 13, 15  
ראו טבלה בעמוד מ-11.

**ביומסה ואנרגיה**

פירמידה של ביומסה היא גם פירמידה של אנרגיה, משום שהביומסה משקפת למעשה את כמות האנרגיה הכימית בכל רמת הזנה. בפועל כל הביומסה – החומרים שנוצרו בפוטוסינתזה והועברו מאורגניזם אחד למשנהו במארג המזון – מנוצלת להפקת אנרגיה בנשימה התאית ומשתחררת לסביבה כפחמן דו-חמצני וכמים. האנרגיה הכימית נוצלה במלואה והומרה לחום (צורת אנרגיה לא זמינה). רעיון זה מוצג בסכמה באיור ג-11.



איור ג-11: אנרגיה וביומסה זמינים לאורגניזמים ברמת ההזנה הבאה  
אנרגיה וביומסה שאורגניזמים מאבדים לסביבה במהלך חייהם

**פירמידה של מספרים**

בבתי גידול רבים מוצאים שמספר הצמחים – היצרנים – גדול ממספר אוכלי הצמחים, ומספרם של האחרונים גדול ממספרם של הטורפים. לדוגמה: בשדה פתוח מספר הצמחים גדול מאוד, מספר אוכלי העשב קטן ממספר הצמחים, ומספר הטורפים הניזונים מאוכלי העשב קטן ממספר אוכלי העשב. אפשר לתאר מערכת אקולוגית של שדה פתוח גם באמצעות פירמידה של מספרים (איור ג-12). בפירמידה זו מספר היצרנים הוא הגדול ביותר וככל ש"עולים" בפירמידה מספר האורגניזמים בכל רמת הזנה הולך ופוחת. תופעה נוספת המאפיינת פירמידה

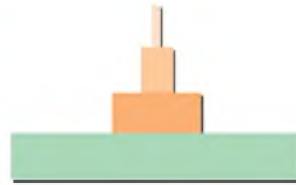
עוד על  
**אנרגיה ראו בספח מושגי יסוד.**

יש הכוללים בביומסה רק את החומרים האורגניים והאנאורגניים (ללא המים) ויש הכוללים גם את המים. להפקת אנרגיה משמשים החומרים האורגניים שהם עיקר הביומסה היבשה. פירמידה של ביומסה מכונה לעתים גם פירמידה של אנרגיה. במקרה כזה היחידות הן הערך האנרגטי של מרכיבי רמות ההזנה בין שהם צמחים עשירים בפחמימות ובתאית ובין שהם בעלי חיים עשירים בחלבון. איור ג-10: מתמקד ברמה אחת של הפירמידה האקולוגית ובחומרים שהם מוחשיים ומובנים ולא באנרגיה שהיא רעיון מופשט. איור ג-11: עוד דרך גרפית להצגת/להמחשת רעיון קשה: לא כל החומרים והאנרגיה ברמת הזנה אחת זמינים לרמת ההזנה הבאה.



שדה: מספר גדול של יצרנים קטנים

של מספרים נוגעת למספר המינים ברמות ההזנה השונות: לרוב מספר מיני היצרנים גדול הרבה יותר ממספר המינים של טורפי העל.



איור ג-12: פירמידת מספרים בשדה: מספר גדול של יצרנים קטנים – צמחים חד-שנתיים.

אולם לפירמידה של מספרים יש חיסרון ברור: כל הפרטים ברמת הזנה מסוימת, בין שזה פיל שמסתו טונות אחדות ובין שזה חרק קטן, מיוצגים באופן זהה. 100 פילים ו-100 חרקים מוצגים באופן זהה לחלוטין. לפיכך פירמידת המספרים אינה משקפת את כמות החומרים האורגניים העומדת לרשות האורגניזמים ברמות ההזנה השונות, וזהו חסרונה הבולט.

תפיסה שגויה 12 ראו  
טבלה בעמוד מ-11.

שאלה ג-4 תשובה בעמוד מ-46



כיצד תיראה פירמידת מספרים המייצגת מצב שבו:

- א. חרקים רבים ניזונים מעליו של עץ גדול וציפורים ניזונות מהחרקים?
- ב. טפילים רבים חיים בתוך גופו של פונדקאי אחד או עליו?

חשיבות המידע על מארג מזון מוצגת במחקר: התערבות חוקרים במערכת אקולוגית של יער אלונים. על"ב, 159, 84-92.

חשיבות דרכי התיאור והייצוג להכרת המערכת האקולוגית

כדי להכיר בית גידול, למשל בסביבת הבית או בסביבת בית הספר, עלינו להכיר את מגוון האורגניזמים החיים בבית הגידול. אך אין בכך די. היחסים בין האורגניזמים, כפי שהם משתקפים במארג המזון ובפירמידה האקולוגית, חשובים לא פחות. מיחסים אלו אפשר לקבל תמונה שלמה ומקיפה על בית הגידול ועל המתרחש בו. חוקרי האקולוגיה נוהגים להשוות בין בתי גידול על ידי ניתוח המארגים המתקיימים בהם והשוואתם או על ידי השוואת מבנה הפירמידות המייצגות את יחסי הגומלין הכמותיים בבית הגידול. על פי מארג המזון אפשר, למשל, להסביר תופעות או לחזות מה יהיו השינויים שיחולו במערכת האקולוגית בעקבות שינוי באחד ממרכיביה.

תפיסה שגויה 16 ראו  
טבלה בעמוד מ-11.

שאלה ג-5 תשובה בעמוד מ-47



לפניכם מארג מזון בבית גידול יבשתי. התבוננו בו וענו על השאלות שלהלן.

- א. מיינו את האורגניזמים במארג ליצרנים, צרכנים ראשוניים, צרכנים שניוניים וטורפי-על.
- ב. מה יקרה למרכיבי המארג, אם תפרוץ שרפה שתשמיד את כל הצמחים?
- ג. בשנה גשומה במיוחד ניתן להבחין בשתי תופעות שונות: (א) גידול נמרץ של כל הצמחים בבית הגידול (ב) טביעה של גורי עכברים במחילותיהם. סכמו את השפעותיהן המשוערות של תופעות אלו על מארג המזון.



מארג מזון



## ג4. תהליכים בבית הגידול: מחזורי החומרים והעברת האנרגיה

אחת התופעות המופלאות של החיים היא האחידות בהרכב הכימי של האורגניזמים. כל האורגניזמים מכילים אחוז גבוה של מים ובנויים מפחמימות, שומנים, חלבונים וחומצות גרעין.

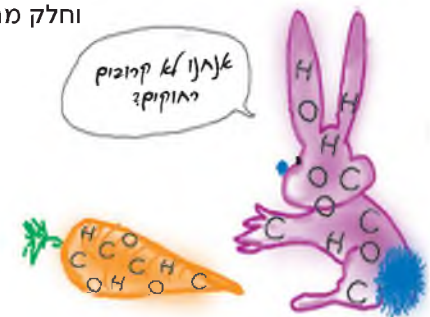


**תא:** רוב החומרים הבונים את תאי היצורים החיים הם תרכובות פחמן אורגניות מסוגים שונים. בתאים מצויים גם מינרלים.

### מהי החשיבות של הדמיון בהרכב הכימי?

היתרון המעשי של הדמיון בהרכב הכימי הוא שאותם חומרים (יסודות ותרכובות) דרושים לקיומם של כל האורגניזמים, ואורגניזם אחד יכול לקבל את הדרוש לו מאכילת גופו (או חלק מגופו) של אורגניזם אחר. כך הדבר אצל ה**הטרוטרופים** המקבלים חומרים אורגניים מאכילת אורגניזמים אחרים או פירוקם ותוך כדי כך הם מקבלים גם את החומרים האנאורגניים (מינרלים) וחלק מהמים הדרושים להם.

מעבר החומרים מאורגניזם אחד לאחר במארג המזון ובין רמות ההזנה בפירמידה האקולוגית והשימוש החוזר בהם על ידי מרכיבי המארג הם חלק מתהליך **מחזור החומרים** בביוספירה ובכדור הארץ בכלל. בהעברת החומרים משתתפים כל האורגניזמים בבית הגידול, והיא מלווה גם בשינויים כימיים בחומרים שבאורגניזמים וגם בגלגולי אנרגיה: מאנרגיית אור לאנרגיית כימית ולאנרגיית חום.



מה משותף לארנבת ולגזר?

### מחזור החומרים

כדור הארץ והאטמוספירה המקיפה אותו מהווים מערכת סגורה לחומרים, כלומר: חומרים אינם מגיעים אל כדור הארץ מבחוץ וחומרים אינם יוצאים ממנו אל החלל החיצון. (חוץ ממטאוריטים הנכנסים לאטמוספירה ומגיעים לכדור הארץ וחוץ מחלליות ולוויינים המשולחים מכדור הארץ אל החלל החיצון ולא שבים אל כדור הארץ, אלא שמבחינה כמותית תרומתם והשפעתם היא אפסית.)

הארנבת והגזר מייצגים את האחידות באבני הבניין לעומת השוני בצורה ובמבנה הסופיים. גם תינוק בחודשי חייו הראשונים מייצר מחלב את כל מגוון חומרי גופו. אנלוגיה מתאימה: חומרי בניין כמו מלט, ברזל ולבנים משמשים לבניית בתים בצורות שונות.

### היכן נמצאים כל החומרים?

כל החומרים האורגניים והאנאורגניים מצויים במאגרים האלו:  
**הביוספירה:** האורגניזמים החיים והמתים  
**הליתוספירה:** הסלעים והקרקע  
**האטמוספירה:** מעטפת הגזים סביב כדור הארץ  
**ההידרוספירה:** גופי המים לסוגיהם שעל פני כדור הארץ: הנהרות, המעיינות, הנחלים, האגמים, הימים והאוקיינוסים.

כדור הארץ והמערכות האקולוגיות הם מערכות פתוחות מבחינה אנרגטית ומעבר האנרגיה בהן הוא חד סטרי ולא מחזורי, בשונה מהחומרים.

התהליכים הכימיים-ביולוגיים המתרחשים באורגניזמים גורמים להעברה מחזורית של חומרים בין ארבעת המאגרים האלה. (תהליכים פיזיקליים, כמו המסת חומרי סלע על ידי הגשם, גורמים אף הם לתנועת החומרים, אך בהם לא נעסוק כאן.)

את המהלך הכללי שחומרים עוברים בין המרכיבים הביזויטיים והא־ביזויטיים ניתן לראות בסכמה המוצגת באיור ג-13.

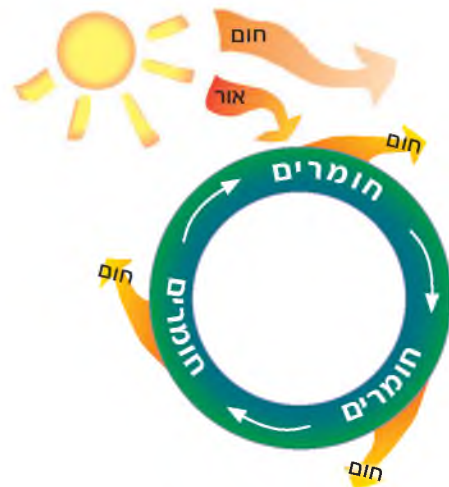


למחזור החומרים. החומרים האורגניים הם מקור לחומרי בניין וגם משמשים להפקת אנרגיה בכל האורגניזמים (יצרנים, צרכנים ומפרקים) (טבלה ג-1, איור ג-10).

חשוב לתת את הדעת שקיים הבדל עקרוני בין מעברי האנרגיה לבין מעברי החומרים. בקטע הקודם הוסבר, כיצד החומרים ממוחזרים, וגם אחרי שהם פורקו ליסודותיהם אפשר לשוב ולהשתמש בהם להרכבת חומרים חדשים. לגבי האנרגיה המצב שונה לחלוטין: פעולות החיים

של האורגניזמים, נשימה תאית, תנועה, העברה פעילה, סינתזה ועוד, מלוות בשחרור אנרגיית חום. אנרגיית החום, שלא כמו האנרגיה הכימית, היא צורת אנרגיה שלאורגניזם אין אפשרות לשוב ולהשתמש בה בתהליכים המתרחשים בו. בביוספירה אנרגיית חום אינה זמינה במלואה לביצוע עבודה או להנעת תהליכים, ולכן קיומם של החיים על פני כדור הארץ תלוי באספקה שוטפת של אנרגיה מן השמש.

בניגוד לחומרים הממוחזרים ללא הרף העברת האנרגיה בביוספירה ובמערכות האקולוגיות היא תהליך חד-סיטרי שכיוונו אחד: מהשמש אל הגורמים הביולוגיים, ומהם כחום הנפלט אל החלל (איור ג-14).



איור ג-14: מחזור חומרים לעומת מעברי האנרגיה

על קושי בהבנת ההבדל העקרוני בין אנרגיה לחומרים במארג מזון ראו בטבלה שבמודם מ-11 סעיף 18.



אנרגיה במערכות ביולוגיות ראו בנספח מושגי יסוד.

גלגולי האנרגיה בתהליך הפקת חשמל בתחנות כוח המופעלות על ידי מפל מים: אנרגיית חום מהשמש < אידוי מים < הנעת האדים העננים אל היבשה < המים בראש המפל: אנרגיה פוטנציאלית של גובה < אנרגיה של תנועת הטורבינה < אנרגיה חשמלית.



טמפרטורה ומחזור המים ראו בפרק ב, סעיף 6ב.

### קרינת השמש – מקור אנרגיה ראשוני

השמש היא מקור האנרגיה הראשוני של רוב המערכות האקולוגיות. יחד עם זאת, השמש היא גם מקור האנרגיה הראשוני לחברת בני האדם. העץ, הנפט, הגז והפחם הם צורות של אנרגיה כימית המשמשים להפעלת כלי התחבורה ומכונות בתעשייה, ולהפקת חשמל לחימום ולתאורת הבתים. הנפט והפחם נוצרו מצמחים ומבעלי חיים קדומים, ולכן אפשר לומר שגם הם נוצרו כתוצאה מתהליך הפוטוסינתזה שביצעו הצמחים הקדומים לפני מיליוני שנים בעזרת אנרגיית אור מהשמש. נובע מכך, שהשמש מהווה בעקיפין מקור אנרגיה ראשוני גם לאנרגיה החשמלית המופקת כיום בתחנות כוח המופעלות בפחם, בגז או בדלק נוזלי.

השמש היא גם מקור האנרגיה הראשוני של תחנות כוח המופעלות על ידי מפלי מים או על ידי הרוח. כיום נהוג גם השימוש באנרגיה גרעינית המופקת בכורים גרעיניים כמקור אנרגיה חלופי.

בחברה המודרנית שאנו חיים בה מומרות כמויות גדולות של אנרגיה כימית (נפט, דלק, גז, עץ ופחם) לצורות אנרגיה אחרות. אולם חשוב לזכור שהאנרגיה הכימית היא משאב מתכלה. כתוצאה מפעילות האדם האנרגיה הכימית מומרת לצורות אחרות של אנרגיה (למשל: חשמל, תנועה) וסופה שהיא נפלטת כחום לחלל, ואי אפשר לשוב ולהשתמש בה. ולכן אנו מצווים לחסוך בשימוש במשאב היקר של האנרגיה הכימית שהצטבר בקרקע בעידנים קדומים.



תחנות להפקת חשמל מרוח

שאלה ג-7 תשובה בעמוד מ-47



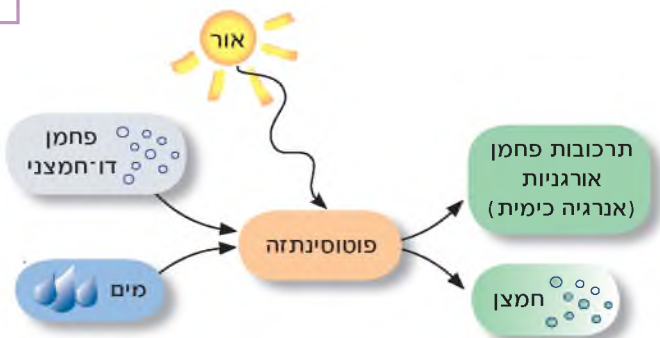
- א. מדוע הנפט והפחם הם משאבים מתכלים? האין אפשרות לחדש משאבים אלה? נמקו.
- ב. האם גם האנרגיה החשמלית המופקת בתחנות כוח המונעות על ידי מים היא משאב מתכלה? נמקו.



**תא:** בתאים מתקיימים תהליכים של פירוק, בנייה ושינוי - חילוף חומרים (מטבוליזם), המלווים בשינויים אנרגטיים ומזורזים על ידי אנזימים.

הצמידות בין מחזור החומרים לבין העברת האנרגיה

כדי להבין את מחזורי החומרים ואת תהליכי העברת האנרגיה במערכת האקולוגית עלינו להכיר את תהליכי הבנייה ותהליכי הפירוק הכימיים המתרחשים בתאיהם של האורגניזמים. חשוב לזכור שכל התהליכים הביוכימיים באורגניזם קשורים אלו באלו במעין מארג מורכב של מסלולים מטבוליים. חלק מתוצרי הפוטוסינתזה משמשים לסיתתת חלבונים ושומנים, ותוצרי ביניים של פירוק חלבונים ושומנים משמשים בתהליכי בנייה בתא.



איור ג-15: מחזור חומרים והמרת אנרגיה בפוטוסינתזה

כאן "קופצים" בין רמת הארגון של המערכת האקולוגית לבין רמת הארגון של התא: תהליכים בתא - פוטוסינתזה ונשימה תאית - באים לידי ביטוי בתהליכים במערכת האקולוגית: העברת אנרגיה ומחזור חומרים.

הפוטוסינתזה היא דוגמה לתהליך בנייה: הודות לאנרגיית השמש נבנות בצמח תרכובות אורגניות, כמו סוכר או עמילן, מתרכובות אנאורגניות: פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ) ומים ( $H_2O$ ) (איור ג-15).

התרחשו כאן שני תהליכים בוזמנית:

1. המרת (גלגול) אנרגיה: אנרגיית אור הומרה לאנרגיה כימית.
2. מחזור של היסודות פחמן וחמצן ( $CO_2$ ), ומימן מהמים: שלושת היסודות האלה היו חלק ממולקולות אנאורגניות וכעת הם חלק ממולקולה אורגנית.

באמצעות תהליך הפוטוסינתזה עברו היסודות פחמן, חמצן ומימן מהמרכיב האי-ביוטי של המערכת האקולוגית אל המרכיב הביוטי ואנרגיית האור מהשמש הומרה לאנרגיה כימית, שהאורגניזמים יכולים לנצל להפקת אנרגיה זמינה - ATP - לפעולותיהם.

מעניין לדעת



רק כ-1% - 2% מכלל אנרגיית האור של השמש מומרת לאנרגיה כימית בתהליך הפוטוסינתזה, ומשיעור קטן זה מתקיימים רוב רובם של האורגניזמים בעולם! השיעור הממוצע של הייצור הפוטוסינתטי בשנה באזורים שונים הוא זה: ביער טרופי הוא כ-2000 גר' למ"ר בשנה, בערבות עשבוניות - 600 גר' למ"ר בשנה ובאוקיינוסים הוא 155 גר' למ"ר בשנה. עם זאת, סך כל הייצור הפוטוסינתטי באוקיינוסים מגיע לכ-34% מכלל הייצור הפוטוסינתטי בעולם וזאת בשל שטחם העצום: שטח האוקיינוסים הוא כ-71% משטח פניו של כדור הארץ.





הצמח מייצר מתוצרי הפוטוסינתזה את כל החומרים האורגניים הבונים את גופו. לשם כך הוא משתמש בעוד יסודות הנקלטים מהקרקע: לבניית החלבונים הוא משתמש בתרכובות חנקן וגופרית אנאורגניות, ולבניית חומצות גרעין – בזרחן (איור ג-3, עמוד 76).

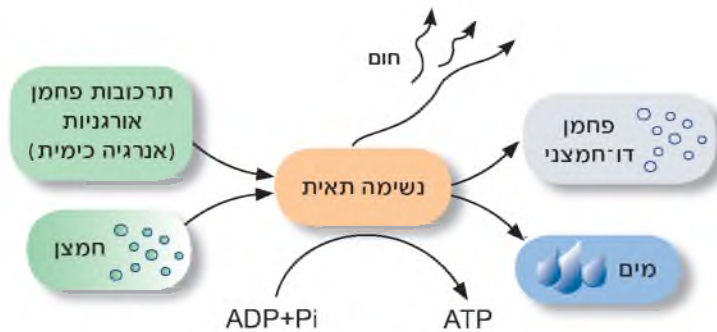
**הנשימה התאית** היא תהליך שבו **מפורקות תרכובות אורגניות**. גם בנשימה התאית קיימת הצמידות בין העברת האנרגיה למחזור החומרים: מהאנרגיה בחומרים האורגניים (אנרגיה כימית) מופקת אנרגיה כימית זמינה כ-ATP ואנרגיית חום (איור ג-16).



**ביולוגיה של האדם:**  
אנרגיית חום היא תוצר של נשימה תאית.

### במה שונה האנרגיה הכימית בחומרים אורגניים וב-ATP?

לתהליכי החיים בתאים (בניית חומרים, העברה פעילה ועוד) נחוצה **אנרגיה כימית זמינה** כ-ATP. ATP הוא תוצר של הנשימה התאית שבה מחומצנות תרכובות אורגניות. האנרגיה המשתחררת בחמצון משמשת בחלקה לבניית ATP, המשמש כמקור אנרגיה לתהליכים בתא. ATP אינו מועבר מתא לתא ואינו נאגר בתאים. חומרים אורגניים אחרים, כמו סוכרים, עמילן וגליקוגן, מועברים בין אורגניזמים ובאורגניזמים עצמם ונאגרים בהם אך אינם מהווים מקור של אנרגיה זמינה.



איור ג-16: מחזור חומרים והמרת אנרגיה בנשימה תאית



איור ג-16: נשימה תאית צוינה גם בפרק ב (סעיף 43) בהקשר לחשיבות החמצן.

**תא:** הנשימה התאית היא תהליך אנזימטי רב-שלבי, שבו מופקת אנרגיה כימית ATP, המשמשת לביצוע כל תהליכי החיים בתא.

### ומה קרה לחומרים?

התרכובות האורגניות פורקו בשלבים רבים לתרכובות פשוטות. מפירוק שלם של גלוקוז בתהליך הנשימה התאית מקבלים  $CO_2$  ומים. כך חוזרים הפחמן, החמצן והמימן להיות חלק מהמרכיב האי-ביוטי.

הנשימה והפוטוסינתזה הם שני תהליכים חשובים בהעברת האנרגיה ובמחזורי החומרים בביוספירה, אך הם אינם התהליכים היחידים. תהליכים נוספים מתרחשים במחזור הפחמן ובמחזור החנקן (מחזורים אלו יוסברו בהמשך).

### שאלה ג-8 תשובה בעמוד מ-48

- שלו בסכמה אחת את הסכמות המתארות את תהליכי הפוטוסינתזה והנשימה כך שיציגו את מחזור החומרים ואת המרת האנרגיה.
- "פוטוסינתזה ונשימה הם תהליכים המשלימים זה את זה במאזן החומרים בביוספירה". הסבירו משפט זה.
- האם נכון לומר: "פוטוסינתזה ונשימה הם תהליכים הפוכים"? נמקו.
- האם ניתן לומר שבביוספירה שיעור הנשימה גדול יותר או קטן יותר משיעור הפוטוסינתזה? נמקו.



## דוגמאות של מחזורי חומרים

במחזור החומרים משתתפים כל האורגניזמים המהווים את החברה בבית הגידול. כל יסוד עובר מסלול מחזור שהוא ייחודי לו. מערכות אקולוגיות נבדלות זו מזו בכמות החומרים הממוחזרת בהן ובקצב המחזור.

### ■ מחזור הפחמן

היסודות פחמן (C), חמצן (O) ומימן (H) שלובים זה בזה במחזורי החומרים בטבע ולכך שתי סיבות:

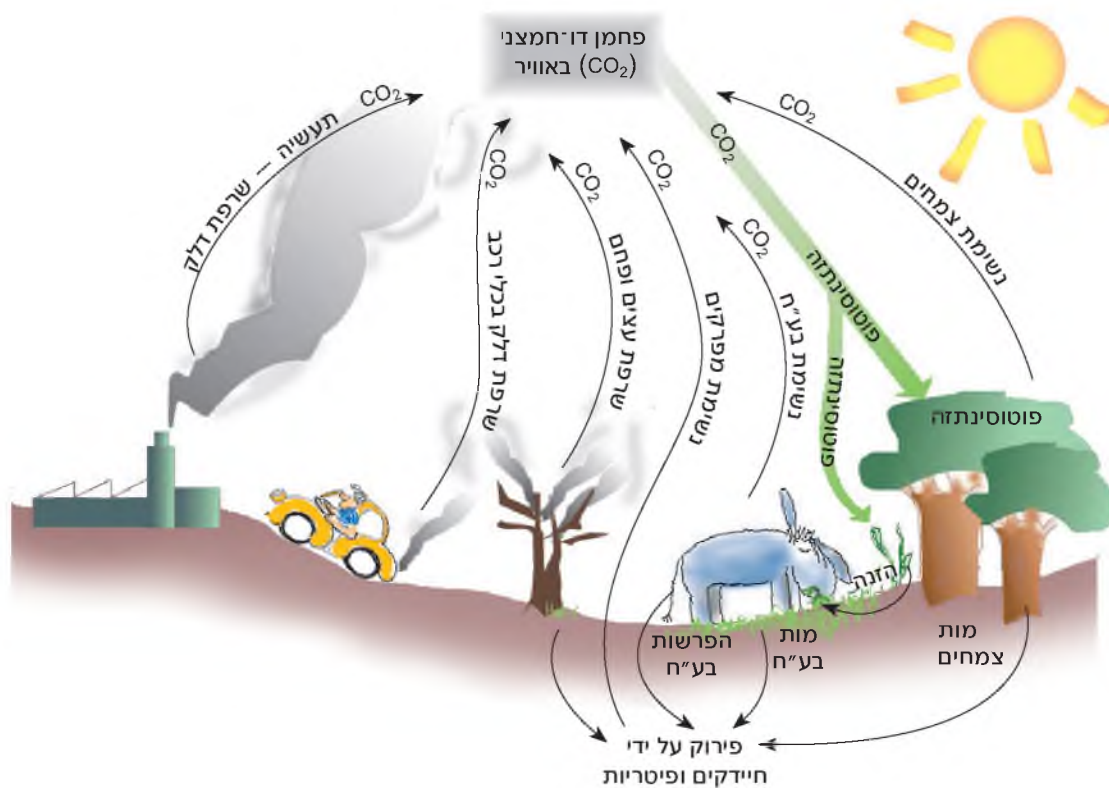
1. הפחמן, החמצן והמימן מופיעים יחד בתרכובות האורגניות הבונות את גופם של האורגניזמים.
2. שני התהליכים העיקריים המעורבים במחזור הפחמן – הפוטוסינתזה והנשימה – הם גם שני התהליכים העיקריים במחזורי החמצן והמימן, והם משלימים זה את זה במעגל המחזור.

מחזור המים תואר בקצרה בפרק ב, עמוד 58. בשונה ממחזור הפחמן, מחזור המים הוא מחזור של מולקולה ולא של יסוד והתהליכים הם פיזיקליים ברובם. עוד על מחזורי הפחמן והחנקן: בספר מיקרוביולוגיה עמודים 76-78.

שאלה ג-9 תשובה בעמוד מ-48

- א. תנו דוגמאות לתרכובות אורגניות שבהן מופיעים גם פחמן וגם חמצן.
- ב. חזרו ובדקו: מהו מקור החמצן הנפלט בפוטוסינתזה?

באיור ג-17 מוצגת סכימה חלקית של מחזור הפחמן. בממוצע עובר אטום הפחמן מחזור שלם אחת ל-400 שנים.



איור ג-17: מחזור הפחמן בטבע





**שאלה ג-10 תשובה בעמוד מ-49**

- ענו על השאלות הבאות בעזרת הסכמה שבאיור ג-17:
- מהו התהליך העיקרי שבו נקשר פחמן אנאורגני לתרכובת פחמן אורגנית?
  - מה עשויות להיות ההשפעות של ריבוי כלי רכב ושל שרפת יערות שנכרתו על מחזור הפחמן?

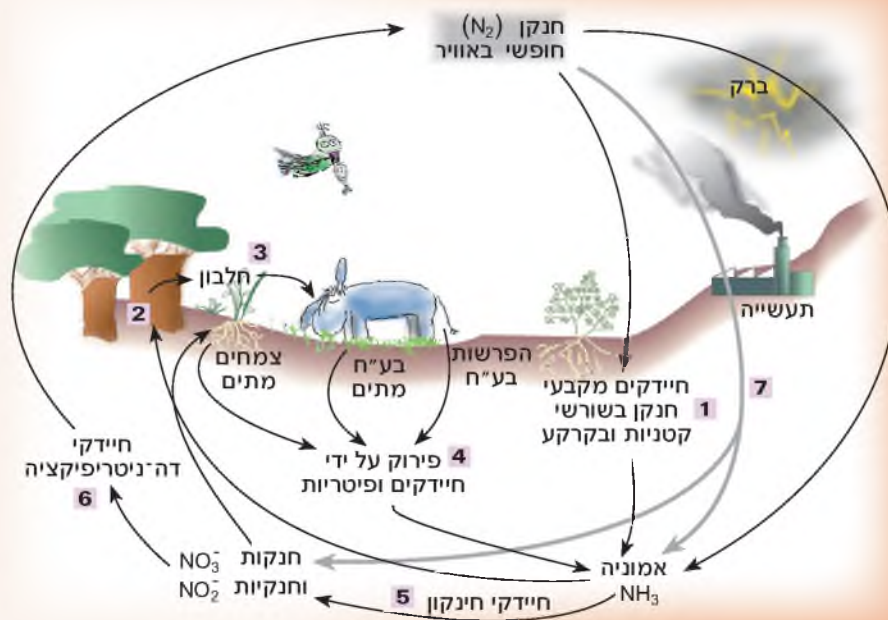
**הרחבה: מחזור החנקן**

החנקן הוא יסוד חשוב ביותר בגוף החי. הוא מרכיב במולקולות החלבון ובחומצות הגרעין. מחזור החנקן, בניגוד למחזור הפחמן, אינו קשור ישירות לתהליכי הפוטוסינתזה והנשימה. מאגרי החנקן העיקריים הם באוויר ובקרקע, הן כשיירים אורגניים של אורגניזמים מתים והן כתרכובות אנאורגניות.

מחזור החנקן הוא ייחודי בשל כמה היבטים:

1. החנקן מהווה 79% (!) מהאטמוספירה (החמצן מהווה כ-20% והפחמן הדו-חמצני כ-0.04%) אך רוב האורגניזמים אינם מסוגלים לנצל את מאגר החנקן העצום שבאוויר.
2. לחיידקים תפקיד מרכזי ביותר במחזור החנקן ובמחזורם של יסודות אחרים. האפשרות למחזור חנקן בטבע תלויה ביכולתם של חיידקים מסוימים לבצע תהליכים שאינם מבוצעים על ידי אורגניזמים אחרים. לדוגמה: קיבוע חנקן חופשי מהאוויר לתרכובות חנקן זמינות לצמחים ושחרור חנקן חופשי לאוויר מתרכובות.
3. רוב התהליכים הקשורים במחזור החנקן מתרחשים בקרקע.

נעקוב אחר מחזור החנקן באמצעות הסכמה שבאיור ג-18 (המספרים באיור תואמים את התהליכים המפורטים בהמשך).



איור ג-18: מחזור החנקן



תורמוס – צמח ממשפחת הקטניות



פקעיות חנקן בשורשים

התהליכים במחזור החנקן הם אלה:

1. קיבוע של חנקן חופשי מהאוויר על ידי חיידקים המצויים בעיקר בקרקע
2. קליטת תרכובות חנקן על ידי הצמחים
3. העברת תרכובות חנקן (כחלבון) במארג המזון
4. פירוק חומר אורגני מאורגניזמים מתים, עלים ופירות שנשרו והפרשות, על ידי פטריות וחיידקים ושחרור חנקן בצורת אמוניה
5. חמצון חנקן מאמוניום ועד לחנקה
6. חיזור חנקות לחנקן חופשי על ידי חיידקים
7. קיבוע חנקן בתעשייה לדשנים.

ניצולו של החנקן שבאוויר לצורכי האורגניזמים במערכת האקולוגית מתאפשר בזכות פעולתם המיוחדת של חיידקים מקבעי חנקן. תהליך קיבוע חנקן האוויר לתרכובות זמינות (מספר 1 באיור) הוא תהליך חשוב ביותר למערכת האקולוגית כולה, משום שהוא מנצל מקור חנקן שאינו זמין לשאר האורגניזמים.

החיידקים המנצלים את חנקן האוויר יש ביניהם החיים חופשי בקרקע ויש החיים בשיתוף עם שורשי צמחים, בעיקר הצמחים ממשפחת הקטניות. החיידקים חיים בפקעיות מיוחדות בשורשים ומספקים לצמח חנקות הניתנות לניצול על ידו. צמחים ממשפחת הקטניות מעשירים את הקרקע בתרכובות חנקן זמינות לצמח, ולכן נוהגים החקלאים לגדל בשדותיהם קטניות וגידולים אחרים לסירוגין וכך מתחדש מפעם לפעם מלאי תרכובות החנקן בקרקע. אמצעי אחר (והנפוץ ביותר) להעשרת קרקע חקלאית בתרכובות חנקן זמינות לצמחים הוא הוספת דשנים חנקניים המיוצרים בתעשייה.



- חיי שיתוף ראו בפרק ד.
- מחזור גידולים, דישון
- ראו בפרק ז.

## מעורבות האדם במחזורי החומרים

לפעילותו המגוונת של האדם בתחומי החיים השונים יש השפעה על מחזורי החומרים בביוספירה וכתוצאה מכך השפעה על המערכות האקולוגיות ועל איכות הסביבה. בסעיף זה נציג שלוש דוגמאות להשפעה זו.

### 1. כריתת יערות

כריתת יערות גשם ושרפתם הוא אחד הגורמים לעלייה בריכוז ה- $CO_2$  באטמוספירה. הגורם המניע אנשים לכרות יערות הוא הרצון להשתמש בשטח המפונה לגידולי חקלאות ולהשתמש בעצים כמקור לאנרגיה ובתעשיות הנייר והרהיטים.

ההשפעה של כריתת יערות על ריכוז  $CO_2$  באטמוספירה היא כפולה:

1. הקטנה משמעותית מאוד של שטחי היערות שבהם מקובע  $CO_2$  בפוטוסינתזה.
2. שרפת העץ הכרות משחררת בבת אחת  $CO_2$  שהצטבר במשך מאות (ואולי אלפי) שנים בחלקים המעוצים של העצים.



- השפעת האדם על מערכות אקולוגיות ראו בפרק ו.

לפי הסכם קיוטו משנת 1997 (Kyoto protocol) מדינות מתועשות או חברות מסחריות הגורמות לפליטת CO<sub>2</sub> מעל לרמה מוסכמת יכולות לממן נטיעה של יערות במדינות אחרות במקום לצמצם את פליטת ה־CO<sub>2</sub> שלהן לאטמוספירה.

### בעין חקלאית

ההנחה של אלה הכורתים את יערות הגשם כדי להפכם לשטחים חקלאיים היא שהפוריות הרבה המאפיינת את היערות תביא תועלת גם בגידולי החקלאות. אולם כבר לאחר שנים ספורות מתברר שפוריות הקרקע נמוכה מאוד והיא אינה מניבה יבולים כמצופה, אלא אם מוסיפים לה דשנים (שמחירם יקר, ולרוב הם אינם בהישג ידם של החקלאים באזורים אלה). מה הסיבה להידלדלות הקרקע? התברר שמחזור החומרים בקרקע של היער הטרופי הוא מהיר מאוד. כל עלה שנושר וכל אורגניזם שמת מפורקים במהירות, והיסודות נקלטים על ידי הצמחים ומשמשים לבניית הגזעים, העלים והפרות שלהם, ומכאן שמרבית היסודות כלואים בביומסה וכמותם בקרקע קטנה. העצים שנכרתו נמכרים והוצאתם מסלקת מהשטח את החומרים שבהם ובמקום נותרת קרקע ענייה בחומרי הזנה מינרליים, ובנוסף – שרפת הנותר גורמת לאיבוד יסודות אלה (בעיקר חנקן) לאטמוספירה.

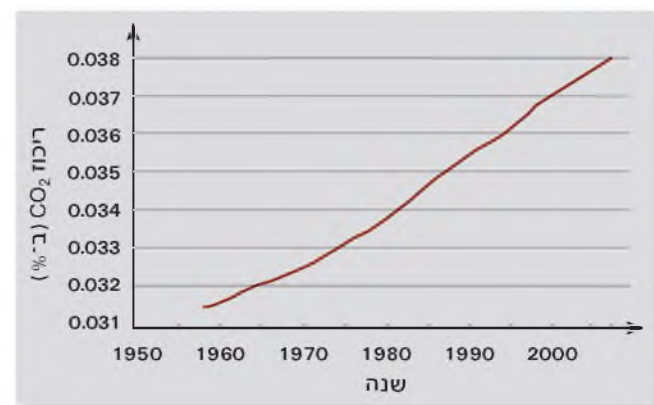
## 2. שימוש מוגבר בדלק נוזלי ובפחם

השימוש ההולך ומתרחב בדלק נוזלי ובפחם להנעת כלי רכב, לייצור חשמל ולמפעלי תעשייה משחרר CO<sub>2</sub> (טבלה ג-3) וריכוזו באטמוספירה עולה. (להזכירכם: הנפט והפחם גם הם תוצרים של הפוטוסינתזה בעידנים קדומים).

טבלה ג-3: פעילויות לצורכי האדם הגורמות לעליית כמות ה־CO<sub>2</sub> באטמוספירה

תרומת הפעילות לפליטת CO <sub>2</sub> (באחוזים)	פעילות האדם
33	תחנות כוח לייצור חשמל (בעיקר אלו השרופות פחם)
31	תחבורה
24	תעשייה
12	חימום והסקה

המדענים סבורים שהעלייה בריכוז ה־CO<sub>2</sub> (איור ג-19) באוויר גורמת להגברת אפקט החממה – התחממות אטית של האטמוספירה. בעקבות זאת צופים שתחול התחממות של 3–4 מעלות העלולה לגרום לשינויים אקלימיים מרחיקי לכת באזורים נרחבים על פני כדור הארץ. למשל: הפיכת אזורים שכיום מכוסים בצמחייה למדבר (מדבור), המסת קרחונים שבעקבותיה יעלה מפלס מי הים ויוצפו הערים השוכנות לחופי היבשות.



איור ג-19: עליית ריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה

**מעניין לדעת!**

חשוב לתת את הדעת לכך שאפקט החממה כשלעצמו הוא תופעה חיובית, כי הוא יוצר תנאי טמפרטורה נוחים, והודות לו מתאפשרים החיים על פני כדור הארץ. לאפקט החממה תורמים גם גזים אחרים כמו תחמוצות חנקן וגפרית, מתאן ועוד. הבעיה בימינו היא ההגברה המהירה של אפקט החממה ובעקבותיה העלייה בטמפרטורה.

**3. שימוש מוגבר בחומרי דישון**

מספרם של תושבי כדור הארץ גדל והולך ובעקבותיו גדלה הדרישה למזון. כדי לספק את הביקוש הגובר למזון מרבים בחקלאות להשתמש בדשנים (בעיקר אלה המיוצרים בתהליכים תעשייתיים שבהם מקובע חנקן מהאוויר לתרכובות כגון מלחי אמוניה וחנקות). כשמוסיפים דשנים לקרקע, כמות היבול החקלאי המתקבלת מכל חלקת שדה גדלה גידול של ממש. אך בצד התועלת הרבה יש גם נזק. שימוש מופרז בדשנים המכילים חנקן וזרחן עלול לגרום לעודף של דשן שאינו נקלט על ידי גידולי החקלאות ונותר בקרקע. עודף הדשן נשטף למי התהום ומגיע גם למאגרי מים אחרים. עקב כך נפגעת איכות המים ונגרם נזק לבריאות האדם.

עודף בתרכובות חנקן וזרחן גורם גם לריבוי אצות באגמים. כאשר מגיעים אל האגם מים שנשטפו משטחי חקלאות שדושנו, נוספות למי האגם תרכובות חנקן וזרחן רבות המגבירות את התרבות אצות. אם אין באגם די אוכלי אצות, יפורקו רוב האצות עם הזמן על ידי חיידקים. תהליכי הפירוק ידלדלו את מקורות החמצן באגם (החיידקים המפרקים משתמשים בחמצן לנשימתם!) ובהיעדר חמצן ימותו הדגים, ובסופו של דבר תשתנה המערכת האקולוגית במידה ניכרת. במקרים רבים ישפיע הדבר גם על איכות המים וגם על המערכת הכלכלית של האדם החי לחוף האגם ומתפרנס ממנו. נזק נוסף עשוי להיגרם למערכת האקולוגית בשל העובדה שמקצת מהאצות מפרישות תרכובות רעילות.

זרחן מגיע לנחלים ולמאגרי המים לא רק עם הדשנים אלא גם עם מי ביוב לא מטוהרים המכילים שאריות של אבקות כביסה. בכמה וכמה ארצות בעולם עוברים להשתמש באבקות כביסה שאינן מכילות זרחן כדי לשמור על איכות המים.

**עוד על**  
השפעת הטמפרטורה  
ראו בפרק ב, סעיף 6ב.

**עוד על**  
דרישה למזון, חקלאות  
ודישון ראו בפרק ז.

צפוי שהשפעת תוספת פחמן דו-חמצני תהיה בולטת יותר משום שריכוזו הטבעי באוויר הוא נמוך וכל שינוי (אף כי קטן) יכול להיות בעל השפעה ניכרת. לא כך לגבי החנקן שריכוזו באוויר הוא כ-0.8%. גם אם יקובע חנקן רב ההשפעה על הרכב האטמוספירה לא תהיה ניכרת.

**שאלה ג-11 תשובה בעמוד מ-49**

בדוגמאות שהובאו לעיל מודגמת מעורבות האדם במחזורי החומרים. מה ההבדל בין מעורבות האדם בדישון לבין מעורבותו בשימוש בדלקים?

**בעין חקלאית: מחזור חומרים במשק החקלאי**

הפעולות שנעשות על ידי החקלאי כדי לקבל יבול משפיעות על מחזורי החומרים. מצד אחד דישון השדות והמטעים מוסיף לקרקע חנקות, זרחות ויסודות נוספים שמקצתם נשטפים לאזורים הטבעיים, ומצד אחר היבול שנאסף "מסלק" חומרים שהצמחים קלטו מהקרקע. ההפרשות של בעלי החיים, פרות ועופות, עלולות לגרום לזיהום של מקורות מים ושל קרקעות, אם לא יטופלו כהלכה.

אחת הדרכים למנוע את זיהום הסביבה היא להשתמש לדישון הקרקע בהפרשות בעלי החיים ובקומפוסט, זבל אורגני המיוצר משאריות של חומרים אורגניים (שאריות מזון, עלים שנשרו ועוד) בעזרת מיקרואורגניזמים ובנוכחות חמצן.

■ **סיכום הפרק**

1. הגורמים הביוטיים במערכת האקולוגית – היצרנים, הצרכנים והמפרקים – תלויים אלה באלה להזנתם.
2. קיומה של חברת אורגניזמים בבית גידול מסוים תלוי בחומרים האורגניים המיוצרים על ידי היצרנים – האוטוטרופים.
3. יחסי אוכל-נאכל הם דוגמה אחת, חשובה ביותר, ליחסי הגומלין במערכת האקולוגית.
4. שרשרת המזון, מארג המזון ופירמידות אקולוגיות הן דרכים שונות לייצוג יחסי הגומלין בין אוכלים לבין נאכלים ולייצוג רמות ההזנה שאליהן הם משתייכים. דרכי הייצוג נבדלות זו מזו בהיבטים של המערכת האקולוגית שהן מדגישות; בשרשרת המזון ובמארג המזון מוצג ההיבט האיכותי של יחסי אוכל-נאכל, ובפירמידות האקולוגיות – ההיבט הכמותי.
5. כמות החומרים העוברת מרמת הזנה אחת לזו שמעליה הולכת וקטנה, משום שמקצת החומרים נוצלו להפקת אנרגיה או שהופרשו לסביבה: צואה, שתן ושיירים של אורגניזמים.
6. הארגון של אוכלוסיות האורגניזמים ויחסי הגומלין ביניהן נובעים מהתהליכים הביוכימיים המתרחשים בתאי האורגניזמים. אלו מתבטאים בתהליכים המתרחשים ברמת הארגון של המערכת האקולוגית, דהיינו: בתהליכי מחזור החומרים ובהעברת האנרגיה.
7. חומרים מועברים במחזוריות דרך המרכיבים הביוטיים והאי-ביוטיים של הסביבה. העברת אנרגיה, בניגוד לחומרים הממוחזרים ללא הרף, היא תהליך חד-סיטרי שכיוונו אחד: מהשמש אל הגורמים הביוטיים ומהם – כחום הנפלט אל החלל.
8. פוטוסינתזה, נשימה ופירוק (בתהליכי ריקבון ושריפה) הם תהליכים חשובים ביותר במחזורי החומרים ובהעברת האנרגיה.
9. פעולות האדם, בעיקר דישון, שרפת יערות ושימוש בדלקים, משפיעות על מחזורי החומרים ועלולות לגרום לעליית הטמפרטורה באטמוספירה (הגברת אפקט החממה).

■ **מושגים חשובים**

אוטוטרופים	מארג מזון
אנרגיה (המרה, העברה)	מחזורי חומרים: (פחמן, חנקן, מים)
אנרגיה כימית	מחזור חומרים
אנרגיית חום	מפרקים
אפקט חממה	נשימה תאית
ביומסה	פוטוסינתזה
דישון	פחמימות
הזנה (אוטוטרופית, הטרוטרופית)	פירמידה אקולוגית (ביומסה, אנרגיה, מספרים)
הטרוטרופים	צרכנים (ראשוניים, שניוניים)
חומרים (אורגניים ואנאורגניים)	קיבוע חנקן
חיידקים	רמת הזנה
חנקן (זמינות)	שרשרת מזון
טורף	
יצרנים	

ד

יחסי גומלין  
בין אורגניזמים



## מבט על הפרק

יחסי הגומלין בין אורגניזמים הם נושא מעניין ומרתק ויש מקורות רבים להעשרה ולהרחבה בנושא זה. הפרק מציג את העקרונות שעליהם מושתתים יחסי הגומלין האלה. בפרק הובאו דוגמאות אחדות של מחקרים בשדה ובמעבדה. מטרת המחקרים האלה היא להציע תשובות לשאלה הגלומה בהגדרה של התחום "אקולוגיה" (פרק א, עמוד 14): מה קובע כמה אורגניזמים יש?

סעיף 11 עוסק ביחסי הגומלין ברמת הארגון של האוכלוסייה וסעיף 22 – ברמת הארגון של החברה. נקודת המוצא של הדיון ביחסי הגומלין באוכלוסייה ובין אוכלוסיות קשורה לפרק ג: האורגניזמים ניזונים אלה מאלה, זקוקים למשאבים דומים ומתחרים עליהם. השאלה המעניינת היא: איך למרות הטריפה והתחרות חיים אורגניזמים אלה בצד אלה? התשובה לכך נמצאת ב"סיפורים" המעניינים המתארים את יחסי הגומלין השונים בין אורגניזמים, חיי השיתוף ביניהם וההתאמות להימלטות מטורפיהם. לטיפוסים השונים של יחסי גומלין בין אורגניזמים יש פנים אחדות שהודגשו בפרק: לא רק תועלת לאחד ונזק לאחר. סעיף 33 מציג היבט כמותי: אילו גורמים משפיעים על גודלה של אוכלוסייה מסוימת במקום ובזמן מסוימים. ההיבט הזה קשור גם כן לאותו חלק בהגדרה של התחום "אקולוגיה": מה קובע את השפע של אורגניזמים?



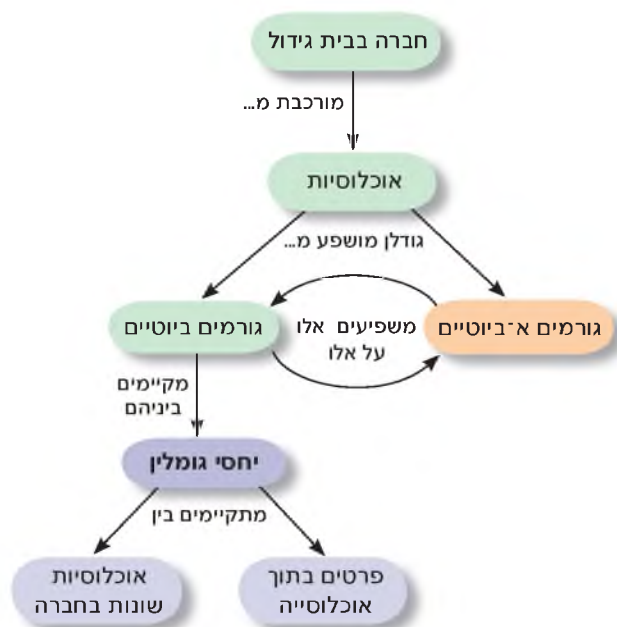
## ד יחסי גומלין בין אורגניזמים



בפרק זה נעסוק ב**יחסי הגומלין** בין האורגניזמים בבית הגידול, נתאר טיפוסים עיקריים של יחסי גומלין בין אורגניזמים ואת השפעתם על האוכלוסיות בחברה.

בבואנו לתאר את יחסי הגומלין בין אורגניזמים למיניהם חשוב לזכור כי:

- האוטוטורפים זקוקים לאור ולחומרים אנאורגניים.
- ההטרטורפים זקוקים לחומרים אורגניים שהם מקור לאנרגיה ולחומרי בניין.
- כל האורגניזמים זקוקים למים.
- בעלי החיים זקוקים למקומות קינון ולמחסה.
- הצמחים זקוקים למאבקים ולמפיצי זרעים.



איור ד-1: מפת מושגים: יחסי גומלין בחברה

בטבע לא קיים בית גידול שיש בו משאבים בכמות בלתי מוגבלת כך שיאפשר גידול מתמיד של כל האוכלוסיות. בבתי גידול רבים מזון ומשאבים אחרים (לדוגמה: מקומות מחסה, מקומות לקינון, מאבקים, אור, מינרלים בקרקע) אינם נמצאים בכמות המספיקה לכולם. הצרכים החיוניים של האורגניזמים מצד אחד, וכמות המשאבים המוגבלת מצד אחר משפיעים על יחסי הגומלין בין האורגניזמים ומכוונים אותם.

יחסי הגומלין שידונו בפרק זה ייבחנו בשתי רמות של ארגון החברה בבית הגידול:

1. יחסי הגומלין בין פרטים (של אותו המין) באוכלוסייה.
2. יחסי גומלין בין פרטים מאוכלוסיות של מינים שונים בחברה שבבית הגידול.

## ד.1. יחסי גומלין בין פרטים באוכלוסייה

### תחרות בתוך האוכלוסייה

כל הפרטים באוכלוסייה זקוקים למשאבים דומים: הם ניזונים מאותו סוג מזון ונוהגים לחפש מחסה במקומות דומים. עובדה פשוטה זו דיה כדי לגרום ל**תחרות** על המשאבים בין הפרטים

המרכיבים את האוכלוסייה. כאשר כמות המזון אינה מספקת – המזון הוא **גורם מגביל** – מתחרים עליו כל הפרטים באוכלוסייה. כשמתבוננים בקבוצת ציפורים העטה על פרוסת לחם ניתן להבחין כי לא כולם יזכו להתכבד בסעודה. יהיו כאלה שייאלצו לחפש את מזונם במקום אחר או להסתפק בשאריות (אם תהיינה כאלו).



משאבים וגורמים מגבילים  
ראו בפרק א.



תחרות על מזון בין פרטים באוכלוסייה





**ברירה טבעית וכשירות**  
ראו בפרק א.

אירוע יום-יומי כמו זה שתואר לעיל מדגים תחרות בין פרטים באוכלוסייה ואת התפקיד שממלאת התחרות בקביעת יכולת ההישרדות של הפרטים. סביר להניח, כי מי שזוכה במזון הרב והמשובח ביותר, הוא הפרט החזק או הזריז יותר מבני מינו. חלק מתכונותיו העדיפות (למשל: גודל) יועברו בתורשה לצאצאיו, וגם להם תהיה עדיפות כשיתחרו עם בני מינם על השגת המזון. זוהי דוגמה לדרך שבה פועל מנגנון הברירה הטבעית. תחרות בתוך האוכלוסייה משפיעה השפעה ניכרת גם על גודל האוכלוסייה (סעיף ד3).

תחרות בין פרטים בני אותו מין קיימת גם בין צמחים הגדלים בצפיפות רבה בשטח מצומצם. הם מתחרים זה בזה על המשאבים: מים, אור, מינרלים בקרקע, שטח לגדול בו, מאביקים ומפיצי זרעים. לא כולם ישרדו ויצליחו להגיע לשלב של יצירת פירות והפצת הזרעים, או שכמות הפירות והזרעים תהיה קטנה יותר.

### על מושגים: תחרות ניצול ותחרות הפרעה

תחרות מתבטאת בשתי דרכים:

**תחרות ניצול:** פרטים מסוימים מנצלים יותר מהמשאבים של בית הגידול, כמו מזון, אור, מים, משאבי קרקע, מקומות מסתור, ולפרטים האחרים לא נותר די משאבים אלה.

**תחרות הפרעה:** פרטים מסוימים מפריעים באופן פעיל לפרטים אחרים ומונעים מהם גישה למשאבים ולבני זוג.

שתי צורות התחרות האלה קיימות הן בין פרטים באוכלוסייה והן בין פרטים המשתייכים לאוכלוסיות שונות (מינים שונים) בחברה.

תחרות ניצול ותחרות הפרעה מדגישים שני היבטים שליליים של תחרות: שני השותפים לתחרות משקיעים אנרגיה בתחרות ואינם משיגים את מלוא המשאב שעליו הם מתחרים. אך לתחרות יש גם היבט חיובי בטווח הזמן האבולוציוני ראו בעמוד 106.

### שאלה ד-1 תשובה בעמוד מ-49



החקלאים נוהגים להקטין את מספר צמחי הכותנה הגדלים בשדה על ידי דילול הנבטים לאחר שנבטו. מדוע, לדעתכם, נעשית פעולה זו?

בין פרטים באותה אוכלוסייה אפשר להבחין לא רק בתחרות על ניצול המשאבים אלא גם בתופעות שבהן פרטים מסוימים מפריעים באופן פעיל לפרטים אחרים. שתי דוגמאות לתחרות הפרעה באוכלוסייה הן אלו:

א. התנהגות טריטוריאלית

ב. יצירת מעמדות באוכלוסייה.

### א. התנהגות טריטוריאלית

התנהגות טריטוריאלית מתאפיינת בכך שכל פרט (או קבוצת פרטים וצאצאיהם) באוכלוסייה מתמקם בחלק ממרחב המחיה בבית הגידול, הטריטוריה או הנחלה, ואינו מאפשר או שהוא מפריע לפרטים אחרים לחפש מזון ומחסה בשטח הזה. כל מי ש"יעז" לפלוש לשטח יסולק משם על ידי ה"בעלים" ללא היסוס.

התנהגות טריטוריאלית נפוצה אצל מיני זוחלים (למשל: החרדון) וגם בקרב ציפורים ויונקים; כלבים וחתולים ביתיים "מסמנים" באמצעות הפרשות מגופם את גבולות הטריטוריה שלהם.



זאת הטריטוריה שלי!

**הארגון החברתי של החרדון המצוי (קטע ממאמר)**

**מאת:** ארבל אברהם **מתוך:** טבע וארץ כ"ג, (3) 103–108 (1981).

בכל תחום מחיה של החרדונים מצויים מספר עצמים בולטים מעל פני השטח. עצמים אלה משמשים להם כנקודת תצפית. השטח שמסביב לנקודת התצפית הוא הטריטוריה של הזכר ועליה הוא מגן מפני פולשים, ובעיקר מפני חרדונים בני מינו. אצל החרדון הטריטוריה היא שטח שקוטרו 10 מטרים לערך.

חדירת פולש, בעיקר חרדון אחר, לטריטוריה מלווה בהתנהגות תוקפנית של בעל הטריטוריה. הוא מותח את עור גרונו ומבצע קידות, שבאמצעותן הוא מנסה לגרש את הפולש.



חרדון

אצל החרדון המצוי רק הזכר הוא טריטוריאלי, ואילו הנקבה, אף שהיא חיה בתחום מחיה קבוע, אינה מגינה על כל שטח שהוא ואינה מפגינה התנהגות טריטוריאלית. שליטה בטריטוריה ובתחום מחיה קבוע הם, ככל הנראה, תנאי לקיומה של המשפחה. זכר שביסס לו תחום מחיה קבוע ומגן על טריטוריה, רוכש לו עד מהרה גם משפחה.

עם חדירתן של נקבות לשטחו הוא בוחן אותן מקרוב, מריח ומלקק אותן, וכשהוא מזהה אותן כנקבות, הוא מניח להן והן נותרות בתחום המחיה שלו. תהליך הצטרפות הנקבות בולט בעיקר באביב ובראשית הקיץ. הזכר הוא הגורם היציב במשפחה ואינו נוטש אותה, אלא אם כן פולש זכר אחר לתחומה, מגרש אותו ומשתלט על תחום המחיה שלו ושל משפחתו.

**האם ה"ניצחון" שהושג בהשתלטות על טריטוריה משחרר את הזכר מתחרות עם פרטים אחרים?**

מצד אחד הצלחתו של פרט מסוים להשתלט על טריטוריה, לדחוק משם את יריביו ולהגן עליה מפני פולשים היא תחרות הפרעה לכל דבר. הפרטים הכשירים פחות לעמוד בתחרות זו יאלצו להסתפק בטריטוריות עניות יותר במזון, קטנות יותר בשטחן או מוגנות פחות מאויבים. מצד אחר, ההתנהגות הטריטוריאלית של החרדון הזכר מאפשרת לו להתחמק או להימנע באופן זמני מתחרות עם פרטים אחרים באוכלוסייה.

התנהגות טריטוריאלית ויצירת מעמדות בחברה מקטינים (אם כי באופן זמני בלבד) את התחרות בתוך האוכלוסייה באמצעות חלוקה (לא שוויונית!) של מרחב המחיה או המשאבים בין המתחרים.

**ב. יצירת מעמדות באוכלוסייה**

בקרב עופות ויונקים קיים לעתים ארגון היררכי של מעמדות בתוך האוכלוסייה. הארגון ההיררכי מבוסס על כך שפרט מסוים או פרטים אחדים הם בעלי מעמד גבוה יותר בארגון החברתי וזוכים במזון משובח ובהזדמנות טובה יותר להזדווג ולהעמיד צאצאים רבים.

**כיצד מגיע פרט מסוים למעמדו בראש ההיררכיה?**

באוכלוסיות של יונקים נרכש המעמד בראש ההיררכיה בעקבות תחרות הפרעה בין פרטים באוכלוסייה, והוא שמור לרוב לפרטים בוגרים וחזקים ולא לצעירים ביותר. בקרב הקופים הגדולים (למשל: שימפנזים) קובע גם ה"יחוס". צאצאי נקבה האהובה על הזכר השליט יזכו ליחס מועדף והסיכויים שלהם להגיע לראש ההיררכיה גדולים יותר.

המעמד הגבוה של העומד בראש ההיררכיה (הזכר הדומיננטי בקבוצת אריות או קופים) מקטין את הצורך של הפרט שזכה להיות במעמד זה להתחרות עם בני מינו והוא מפריע להם להגיע אל משאבים כמו מזון או נקבות. אולם "לא לעולם חוסן" – מעמדו של העומד בראש ההיררכיה מאוים תמיד מצד פרטים צעירים ומתבגרים באוכלוסייה השואפים לעלות לראש ההיררכיה או מצד מהגרים ופולשים שהגיעו מאזור אחר.

### מעניין לדעת

בעדרי פילים ישנה חלוקה חברתית למשפחות שבראשן נקבה שליטה. המשפחה כוללת נקבות צעירות וצאצאים. כשמגיעים הזכרים הצעירים לגיל 6, הם מתחילים לנדוד בנפרד. הזכרים הבוגרים נודדים בקבוצות נפרדות בעדר. גם ביניהם נקבע פרט שליט והוא ה"זוכה" להפרות את הנקבה השליטה.

### מעניין לדעת: לא רק תחרות – עזרה הדדית באוכלוסייה

פרטים המשתייכים לאותה אוכלוסייה לא תמיד מתחרים זה בזה, ואף יש מקרים שבהם הם מסייעים זה לזה. לעזרה הדדית באוכלוסייה יש ביטויים שונים שהבולטים מביניהם הם שיתוף בטיפול בצאצאים של פרטים אחרים בקבוצה ואזהרה מפני סכנה קרבה תוך סיכון עצמי (התנהגות זולתנית אלטרואיסטית). מחקרים מקיפים בנושא זה נערכו בקרב אוכלוסיית זנבנים בארץ ובקרב יונקים (*Suricata suricata*) באפריקה. התופעות הללו מעוררות שאלות הנוגעות להשפעתן על הכשירות של הפרט, שהרי הוא מקדיש מאמצים ואנרגיה לטפל בצאצאים שאינם שלו ומסכן את עצמו. התשובות שמציעים החוקרים מתקבלות מתחום המחקר הנקרא **סוציוביולוגיה** ומתייחסות לתועלת של ההתנהגויות האלה להישרדות המידע התורשתי של הפרט בצאצאיו ובקרובי משפחתו, ולא דווקא לתועלת של הפרט עצמו.



זנבנים

## 2ד. יחסי גומלין בין אוכלוסיות בחברה

הסוגים של יחסי גומלין בין פרטים מאוכלוסיות של מינים שונים בחברה הם רבים ומגוונים יותר ממה שנמצא בין פרטים בתוך אותה אוכלוסייה. נתאר כאן את החשובים ביניהם – תחרות, טריפה וחיי שיתוף.

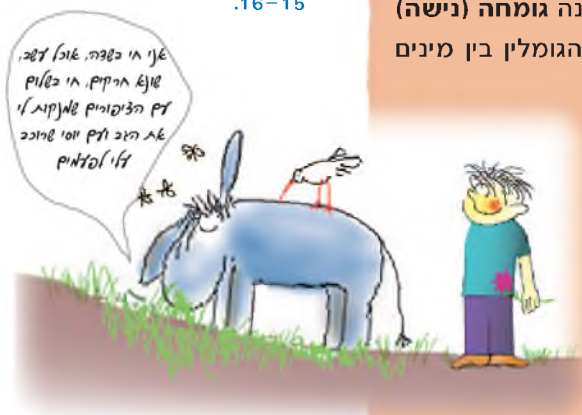
*Suricata* הוא יונק ממשפחת הנמייתיים.

גם כשהתחרות היא בין אוכלוסיות, הפרטים הם אלו שמתחרים – פרט מאוכלוסייה א' מתחרה עם פרט מאוכלוסייה ב'.

### תחרות בין מינים (species)

כפי שראינו לגבי הפרטים באוכלוסייה, כך גם האוכלוסיות (המינים) עצמן מתחרות ביניהן על ניצול המשאבים המוגבלים בבית הגידול. תחרות כזו תתרחש, למשל, כאשר מינים שונים ניזונים מאותו סוג של מזון, מקננים על אותו עץ, נעזרים באותם מאביקים. כלומר, תחרות בין מינים תתרחש כאשר מקצת התנאים והמשאבים הדרושים לקיומו של מין אחד דומים לאלה הדרושים לקיומו של המין האחר. צמחים, בניגוד לבעלי חיים, מתחרים בעיקר על שני משאבים: אור ומשאבי קרקע (מים ומינרלים).

במילון פירוש המלה גומחה  
הוא שקע בקיר או כוך. **הגומחה**  
**האקולוגית** מוגדרת כמרחב  
רבי־ממדי והיא מאפיין של **המין**  
ולא של המקום. אחד ההסברים  
לקיומם של מינים רבים זה  
בצד זה בבית גידול אחד נשען  
על החפיפה החלקית בין ממדי  
הגומחות של המינים. עוד על  
כך: בספר **מגוון ביולוגי**, עמודים  
15–16.



### כיצד יודעים שמינים מתחרים זה בזה?



סביר להניח שתחרות בין פרטים של אוכלוסיות ממינים שונים בחברה תשפיע על מספר הפרטים באוכלוסיות המתחרות. ייתכן שאוכלוסיה אחת תגדל כתוצאה מתחרות זו, והאחרת תקטן או תהגר למקום אחר, וייתכן שאף תכחד. חוקרי האקולוגיה נעזרים בשיטות שונות כדי ללמוד על תחרות המתקיימת בין מינים בחברה.

### הרחבה: גומחה (נישה) אקולוגית

מכלול התנאים והמשאבים הדרושים לקיום ולרבייה של מין מסוים מכונה **גומחה (נישה) אקולוגית** של המין. גומחה אקולוגית הוא מושג מרכזי להבנת יחסי הגומלין בין מינים שונים בבית הגידול. הגומחה של מין מסוים במערכת אקולוגית כוללת את המקומות בבית הגידול שבהם האורגניזם מוצא את מזונו, את השעות ביממה שבהן הוא פעיל, את עונת השנה שבה הוא מגדל את צאצאיו, כמו גם את קשרי ההזנה שלו במארג המזון ואת יחסי הגומלין עם אורגניזמים אחרים. כל אלה הם הממדים הרבים המאפיינים את הגומחה של מין כלשהו. משמעות ה"ממד" מתבהרת אם למשל, נצפה בפיזור הצמחים על חוף הים: ממד המליחות משתנה ברצועת החוף עם המרחק מהים, ומיני צמחים שונים יימצאו ברצף חגורות לפי התאמתם לרמות שונות של ממד המליחות. כל זאת בבית גידול אחד: חוף הים.

בדרך כלל הגומחות של מינים שונים שונות זו מזו רק בכמה מהממדים שלהם. לעתים הן חופפות בממד אחד למשל סוג המזון, אך שונות בממדים אחרים למשל השעה ביום שבה מינים שונים פעילים ומחפשים מזון. ככל שמידת החפיפה בין הממדים של הגומחות של שני מינים גדולה יותר, סביר שתתקיים ביניהם **תחרות ניצול** על המשאבים ששני המינים צורכים אותם.

### איך חוקרים את יחסי הגומלין בין אוכלוסיות ממינים שונים?

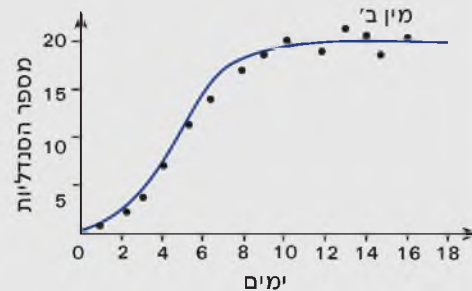
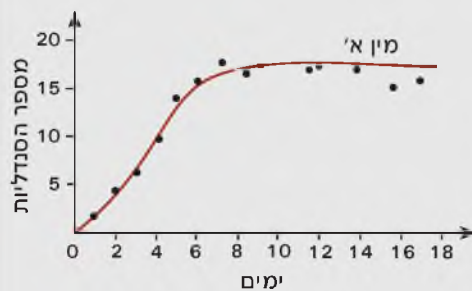


לשאלה זו אין תשובה פשוטה. בחקר של יחסי גומלין ותופעות אחרות במערכת אקולוגית יש להתחשב בכלל הגורמים במערכת, משום שקשה להסביר תופעה רק על סמך שינוי באחד הגורמים. חוקרי האקולוגיה נעזרים בשיטות שונות כדי ללמוד על תחרות המתקיימת בין מינים בחברה ועל יחסי גומלין אחרים (דוגמאות אחדות יובאו בהמשך הפרק). דרך אחת לחקירת תחרות היא **תצפית** באוכלוסיות של מינים הזקוקים למשאבים דומים וחיים באותו אזור ומעקב לאורך זמן אחר שינויים בגודלן. ירידה בגודלה של האוכלוסייה (מספר הפרטים) של מין אחד יכולה להיות תוצאה של תחרות עם המין האחר. ישנם שינויים בגודל אוכלוסייה שניתן להבחין בהם, רק אם עורכים תצפיות במשך שנים רבות ומתעדים את הממצאים. (כמו סיפורם של ציידים וסוחרים פרוות ביערות בצפון אמריקה בעמוד 109). במחקרים אחרים יוזמים החוקרים **התערבות בטבע**. הם מרחיקים פרטים של מין אחד או מוסיפים פרטים של מין אחר ומתוצאות ההתערבות הם לומדים על השפעת התחרות לעומת היעדר ההתערבות (בקרה). ההתערבות והבקרה צריכים להתרחש בו־זמנית ובאותם תנאי סביבה (עמוד 110).

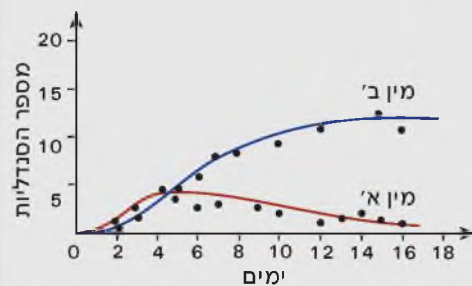
פתרון חלקי למורכבות הרבה של מערכות טבעיות והקושי לבצע ניסויים מבוקרים בטבע נמצא באמצעות ניסויים במעבדה. בניסוי במעבדה אפשר לבנות מערכת פשוטה יחסית ויש אפשרות לשנות גורם אחד בלבד, המשתנה הבלתי תלוי, ולבדוק בתוך זמן קצר את השפעתו על המשתנה התלוי, כאשר כל שאר הגורמים (כגון: טמפרטורה, כמות המזון) נשמרים קבועים. קשה ביותר לערוך ניסוי כזה בטבע, משום שהחוקר אינו יכול לשמור גורמים קבועים ולא תמיד הוא יכול לשנות את הגורם המשפיע, המשתנה הבלתי תלוי, כרצונו. כדוגמה לחקירת יחסי גומלין באמצעות ניסויים במעבדה יתוארו (בקטע הבא ובעמוד 110) שניים מהניסויים של החוקר גאוס (G.F Gause, חי ברוסיה, 1910 – 1986).

חוקרים אקולוגיה: תחרות בין שני מינים של סנדליות

החוקר גאוס גידל במעבדה, בשנת 1934, שני מיני סנדליות הניזונות מאותו סוג מזון. בתחילה הוא גידל כל מין בנפרד (איור ד-2: א) ואחר כך הוא גידל את שני המינים ביחד באותו כלי (איור ד-2: ב).



א. השתנות מספר הפרטים במהלך ימי הניסוי כאשר גודלו בנפרד



ב. השתנות מספר הפרטים במהלך ימי הניסוי כאשר גודלו ביחד



סנדלית (מוגדל בערך פי 400)

מין א - Paramecium caudatum

מין ב - Paramecium aurelia

איור ד-2: תוצאות הניסוי של גאוס בסנדליות

שאלה ד-2 תשובה בעמוד מ-49

התבוננו בעקומים באיור ד-2 וענו על השאלות הבאות:

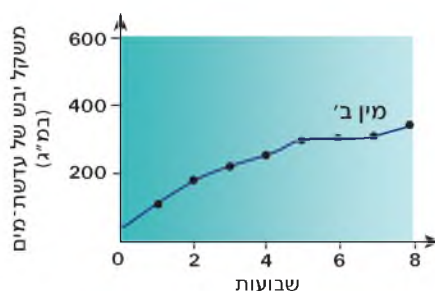
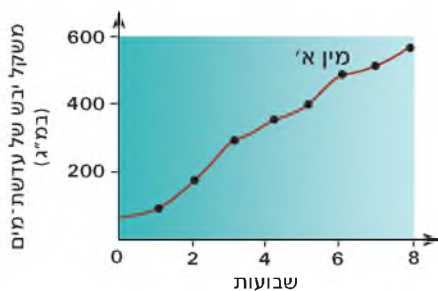
- תארו את התוצאות של הניסוי.
- מהי השפעת הגידול ביחד על כל אחד מהמינים? הסבירו.
- איזה סוג של תחרות (ניצול או הפרעה) נחקר בניסוי? הסבירו.

בשונה מבעלי חיים צמחים אינם יכולים לברוח למקום אחר. הדרך שלהם לעבור לבית גידול אחר היא באמצעות הפצת זרעיהם.

**הרחבה: דחיקה תחרותית**

התופעה שנצפתה בניסוי של גאוס מכונה בשם **דחיקה תחרותית**. דחיקה תחרותית מתרחשת כאשר יש חפיפה רבה בין הגומחות של המינים, ועקב כך נדחק מין אחד מבית הגידול. המין שנדחק, נכחד (כמו בניסוי לעיל) או נאלץ להגר. דחיקה תחרותית יכולה להיות תוצאה של תחרות ניצול או של תחרות הפרעה. ההשערה שמינים מתחרים דוחקים זה את זה הועלתה כעשר שנים לפני שגאוס ביצע את הניסויים שתמכו בהשערה זו.

באיור ד-3 מוצגות תוצאות ניסוי שנערך בשני מינים של הצמח "עדשת מים".



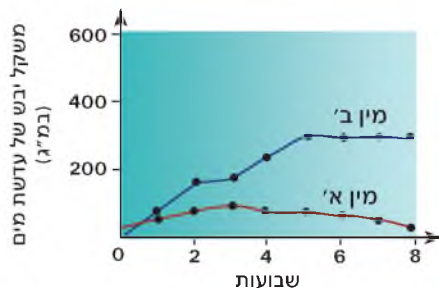
א. מספר פרטים של מיני עדשת המים כאשר גודלו בנפרד

הניסוי עם "עדשת המים" דומה מאוד לניסוי בסנדליות אך הפעם מדובר בצמחים.

על קושי בניחוח גרפים ראו בטבלה שבמוד מ-11 סעיף 19.



צמחים של עדשת המים צפים על פני המים ולידם עלה



ב. מספר הפרטים של מיני עדשת המים כאשר גודלו ביחד

איור ד-3: תוצאות הניסוי ב"עדשת המים"

**שאלה ד-3 תשובה בעמוד מ-50**

- א. השוו בין תוצאות הניסוי של גאוס בסנדליות לבין תוצאות הניסוי בעדשת המים.
- ב. ציינו האם מתוצאות הניסוי בעדשת המים ניתן לקבוע שהתחרות הייתה תחרות ניצול או שהייתה תחרות הפרעה? נמקו.

**אללופתיה: דוגמה של תחרות הפרעה בין מינים**

בטבע אפשר למצוא יחסי גומלין שבהם מעורבים חומרים כימיים המופרשים לסביבה על ידי אורגניזם אחד, ומפריעים לגידול ולהתפתחותו של אורגניזם אחר. דוגמה מוכרת של **אללופתיה** היא פטריות המפרישות חומר אנטיביוטי הגורם למותם של חיידקים בסביבתם. כידוע לכם, השימוש בחומרים אנטיביוטיים נפוץ גם כתרופות למחלות הפוקדות בני אדם ובעלי חיים. חומרים אללופתיים המופרשים על ידי צמחים לסביבתם פוגעים בעיקר בצמחים אחרים, אך



לעתים הם גם מפריעים לנביטה של זרעי הצמח המפריש. עם זאת סביר להניח שהפרשת חומרים אללופתיים מונעת תחרות עם צמחים אחרים ומקנה יתרון לצמחים המפרישים. מבין הצמחים הגדלים בארץ ידועים כמה צמחים המפרישים חומרים אללופתיים: אקליפטוס, הדס, לענת המדבר, מרווה ריחנית, אשל. עדות מהטבע להשפעת ההפרשה של חומרים אללופתיים היא מיעוט צמחים סביב עצי אשל ואקליפטוס (איור ד-4). לעתים אין רואים כל גידול של צמחים בקרבתם.



איור ד-4: אללופתיה: "קרחת" מתחת לאקליפטוס

**ריבוי פנים של תופעות באקולוגיה: באללופתיה – תועלת למין המפריש אך גם נזק: גם את זרעיו הוא מעכב.**

### בעין חקלאית: הדברה ביולוגית באמצעות חומרים אללופתיים



צמחים המפרישים חומרים אללופתיים יכולים להביא תועלת רבה בחקלאות בעיקר כמסייעים לדיכוי של אוכלוסיות עשבים שוטים (מתחרים). התנאי הוא כמובן שהצמחים המפרישים את החומרים האללופתיים ידכאו רק את המין המזיק ולא יפגעו בגידול החקלאי עצמו ולא יתחרו בו בצורה משמעותית. דוגמה: סורגום הוא גידול חקלאי המפריש חומרים אללופתיים, משתמשים בו לדיכוי אוכלוסיות עשבים שוטים (חפורית, חומעה משוננת, חבלבל השדה). השימוש בצמחים המפרישים חומרים אללופתיים הוא דרך נוספת לצמצום השימוש בחומרי הדברה כימיים בחקלאות.



הדברה ביולוגית ראו בפרק ז.

### ■ תחרות בין מינים מנקודת מבט אבולוציונית

בטווח הזמן הקצר של חיי האורגניזם התחרות פוגעת בשני המינים המתחרים, מכיוון שהם אינם יכולים להתפתח ולהתרבות ברמה מיטבית (אופטימאלית) על פי כושר הנשיאה של בית הגידול. הם נאלצים להסתפק בפחות משאבים, להקצות אנרגיה רבה יותר להשגת המשאבים ולהגן על עצמם מפני מתחרים. בטווח זמן ארוך של עשרות אלפי שנים (טווח זמן "אבולוציוני"), גורמת התחרות לברירה טבעית, שכתוצאה ממנה, מתפתחים מינים חדשים הנבדלים (ולו במעט) זה מזה בסוג המזון שהם צורכים או בממד אחר כלשהו של הגומחה האקולוגית שלהם. תהליך ההתמחות יכול לגרום ליצירת מינים חדשים שהחפיפה בדרישותיהם קטנה יותר. יצירת המינים החדשים באמצעות הברירה הטבעית מצמצמת את התחרות ביניהם ויכולה להוביל לניצול משלים ומלא יותר של משאבים. כתוצאה מכך התחרות בין המינים (האוכלוסיות) קטנה, והם יכולים להתקיים זה בצד זה.

### חוקרים אקולוגיה: צמצום תחרות וקיום ביחד של מינים שונים



למרות התחרות הצפויה בין מינים שצורכים משאבים דומים נמצא שאוכלוסיות של מינים שונים יכולות להתקיים זו בצד זו בבית גידול אחד הודות להבדלים מסוימים בממדי גומחותיהם, לדוגמה: מיני המכרסמים מסוג יערון, יערון קטן ויערון גדול, החיים בחורשים בסמיכות זה לזה ואף נלכדו במלכודות סמוכות. ממצאי המחקרים על אורח חיי היערונים מוצגים בטבלה ד-1.



יערון קטן



יערון גדול

על אף שמדובר בבית גידול אחד עולה מהטבלה שהחורש הוא בית גידול מאוד הטרוגני: מזונות שונים בעונות שונות, שטחים פתוחים וסבוכים, סלעים וגלי אבנים.

טבלה ד-1: מאפיינים של אורח חייהם של יערונים (\*)

מאפיין	יערון קטן	יערון גדול
משקל ממוצע	זכר: כ-26 גר', נקבה: כ-26 גר'.	זכר: כ-40 גר', נקבה: כ-38 גר'.
תפוצה בארץ	חרמון, גולן, צפון עמק החולה, הר מירון, גליל עליון, גליל מערבי והכרמל.	חרמון, גולן, צפון עמק החולה, הר מירון, גליל עליון, גליל מערבי, הכרמל והרי יהודה.
הרכב המזון	אוכל זרעים מובהק. מעדיף: שקדים, זרעי דגניים, חרקים. אך אוכל גם בלוטי אלון.	מעדיף בלוטי-אלון, כשאיין בלוטים: זרעים חד-שנתיים, צמחים, עלים ירוקים, פירות, חרקים.
צורך במים	אינם שותים	אינם שותים
שעות הפעילות	לילה	לילה
שינויים בגודל האוכלוסייה	עלייה באביב אחר כך ירידה, עלייה נוספת בסתיו	עלייה באביב אחר כך ירידה, עלייה נוספת בסתיו
המחילות ומקומן	חופר מחילות	מנצל מחילות קיימות בגלי סלעים
בית גידול	שטחים פתוחים במעבה החורש	יער אלונים גבוה מעל סלעים וגלי אבנים
כישורים מיוחדים	כושר חפירה	כושר טיפוס

(\*) מעובד מתוך: ביולוגיה משווה של עכברים מהסוג יערון החיים באותו אזור, מאת: יגאל גרנות, ראם, 3, 29-20, 1984.

שאלה ד-4 תשובה בעמוד מ-50

- על אילו משאבים מתחרים שני מיני היערונים?
- ציינו גורם אחד שתיתכן לגביו תחרות בתוך אוכלוסייה של מין מסוים של יערון.
- כיצד ניתן להסביר (על פי הטבלה) את העובדה ששני מיני היערונים חיים זה בצד זה באותו אזור?

טריפה

ארגון החברה בבית גידול מושתת על כך שאורגניזמים אוכלים או טורפים זה את זה. **הטריפה** היא תופעה מרכזית בטבע, ואך טבעי שהיא מעוררת סקרנות ונחקרה רבות על ידי האקולוגים. אף שאנו נוהגים לייחד את המושג "טריפה" רק כאשר בעל חיים אוכל אורגניזם אחר או חלק ממנו, יש המשייכים לטורפים גם את אוכלי העשב ואת הטפילים למיניהם. מארג המזון הוא דרך לתיאור יחסי הגומלין בין אוכלים לנאכלים ובין טורפים לנטרפים, בבית גידול מסוים.

כיצד משפיעה הטריפה על גודל האוכלוסיות של הטורף ושל הנטרף?

ברור כי הטריפה מועילה לטורף ומזיקה לנטרף. ההשפעה על הנטרף תלויה בגודלו ובסוגו. בתנאים מסוימים יכול הטורף להכחיד אוכלוסייה שלמה של המין הנטרף, כפי שקרה באגם ויקטוריה שבאפריקה באמצע המאה ה-20.



ארגון החברה ומארג מזון  
ראו בפרק ג.

טריפה היא דוגמה ליחסי אוכלים ונאכלים במארג המזון (תוארו בפרק ג), והיא גורם חשוב בוויסות גודלן של אוכלוסיות (עמודים 119-121).



### סיפורו של אגם ויקטוריה

אגם ויקטוריה נמצא בלב יבשת אפריקה ומימיו מזינים את נהר הנילוס שבמצרים הנשפך בסוף מהלכו לים התיכון. אגם ויקטוריה הוא אגם המים המתוקים השני בגודלו בעולם. במשך מיליוני שנים התפתחה והתקיימה באגם חברה מאוזנת של פיטופלנקטון, זואופלנקטון ודגים, בעיקר מקבוצה הקרובה לאמנוניים המוכרים לנו מהכנרת. הדגים ניזונו מהפלנקטון והיו מקור למזון ולפרנסה לתושבי האזור.

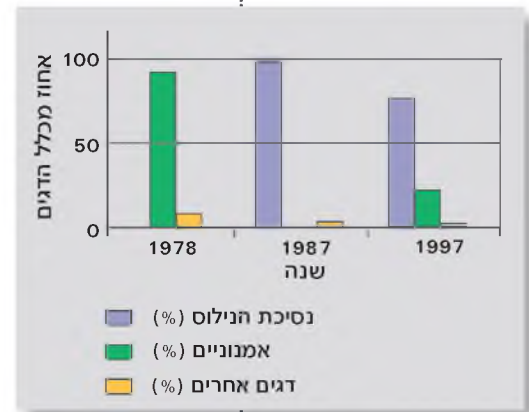
באמצע המאה ה-20 הועלה הרעיון לנסות ולאכלס את האגם בדג טורף הידוע בכינויו "נסיכת הנילוס" (המגיע גם לחנויות בישראל). עוד לפני שהרעיון נבדק היטב, אירעה תקלה ודגי "נסיכת הנילוס", שהיו בבריכות סגורות, נסחפו לאגם והחלו להתרבות בו. הדגים הטורפים חיסלו במהרה את אוכלוסיות הדגים המקומיות (רבים מהם מיני אנדמיים לאגם), והתוצאה הייתה שינוי מהותי של מארג המזון באגם. הכחדה של הדגים אוכלי הפלנקטון גרמה להצטברות של פלנקטון ושל שאריות חומר אורגני באגם. הצטברות החומר האורגני הגבירה את תהליכי הפירוק של החיידקים צורכי החמצן באגם, ועקב כך ירד ריכוז החמצן במימיו, ובהיעדר חמצן מתו דגים רבים.

לפלישה של הדג "נסיכת הנילוס" היו עוד השלכות על האקולוגיה של סביבת האגם. שימור הדגים ממשפחת האמנוניים שנידווגו קודם לכן נעשה על ידי ייבושם בשמש, ואילו שימורו של הדג "נסיכת הנילוס" נעשה על ידי עישון. לצורך העישון נזקקו התושבים לעצים שנכרתו ביערות מסביב לאגם, וכך התרחב הנזק גם לסביבה היבשתית.

בשנת 2000 דיווחו חוקרים על שני ממצאים חשובים:

- (1) ירידה ניכרת בכמות של כלל מיני הדגים הנידווגים באגם: מ-1,156 ק"ג לשעה בשנת 1978 ירד היבול ל-199 ק"ג לשעה בשנת 1997.
- (2) התאוששות מסוימת של מיני האמנוניים באגם, הם חזרו להיות כ-21% מכלל הדגים באגם (איור ד-5).

איור ד-5: אחוזי הדגים שנלכדו באגם ויקטוריה



#### שאלה ד-5 תשובה בעמוד מ-50

- א. מהם הלקחים שניתן ללמוד ממה שאירע באגם ויקטוריה?
- ב. איך ניתן להסביר את שני השינויים שעליהם דווח בשנת 2000?

האירוע באגם ויקטוריה הוא גם דוגמה להשפעה של מין פולש על מערכת אקולוגית.

ריבוי פנים של תופעות אקולוגיות: בטריפה – נזק לעומת תועלת לאוכלוסיית הנטרפים.

באגם ויקטוריה דגי "נסיכת הנילוס" טרפו סוגים של דגים אנדמיים, ופגעו קשה באוכלוסיותיהם. אולם לעתים הטריפה אינה מוחלטת אלא טריפה סלקטיבית. בצמחים נאכלים רק חלקים מסוימים של הצמח, למשל: רק העלים הצעירים או רק הפירות, והצמח יכול להתאושש ולהמשיך לצמוח. טריפה סלקטיבית קיימת גם בין בעלי החיים. לעתים קרובות בורר הטורף את הקרבנות מבין החלשים או האיטיים ביותר מכלל הפרטים באוכלוסייה של המין הנטרף, ומי ששורד הם הבריאים, החזקים והמהירים.

עד כמה שהדבר הוא תמוה הרי שבטריפה יש לעתים תועלת לאוכלוסיית הנטרפים. אמנם הטריפה מקטינה את מספר הפרטים של המין הנטרף (סעיף ד3), ולכאורה זוהי תופעה שלילית – הקטנה של גודל האוכלוסייה וממילא הקטנת סיכוייה לשרוד. אלא שכאשר אוכלוסיית הנטרפים

חיה בצפיפות והתחרות בתוך האוכלוסייה על המשאבים המוגבלים רבה, אזי טריפה של חלק מהפרטים וכתוצאה מכך הקטנת גודלה של האוכלוסייה מקטינות את התחרות באוכלוסייה, משפרות את תנאי הגידול של הפרטים שלא נטרפו (המותאמים יותר להימלטות מטריפה) ואת סיכוייהם לשרוד ולהתרבות.

**שאלה ד-6** תשובה בעמוד מ-51

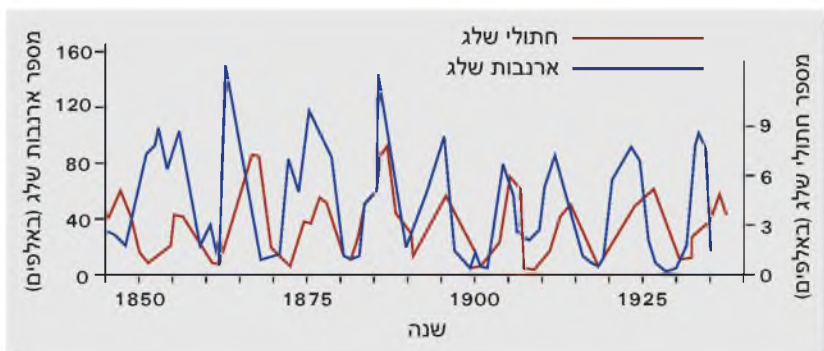
א. סכמו את היתרונות ואת החסרונות של הטריפה לאוכלוסיית הטורף ולאוכלוסיית הנטרף.

ב. כיצד עשויה טריפה סלקטיבית להשפיע על תהליך הברירה הטבעית ועל הכשירות של המין הנטרף?



**המחזוריות בגודלן של אוכלוסיות טורף ונטרף**

אחת הדוגמאות המעניינות של שינויים בגודלן של אוכלוסיות טורפים ונטרפים בטבע היא השינוי בגודל אוכלוסיית ארנבות השלג (Snowshoe hare) וחתולי השלג (Lynx) בצפון אמריקה. במשך שנים רבות ניצודו שני המינים האלו ופרוותיהם נמכרו. הציידים, סוחרי הפרוות, רשמו במדויק את מספר הפרטים מכל סוג שהצליחו לצוד בכל שנה. הודות לכך היה אפשר לעקוב אחר שינויים בגודלן של שתי האוכלוסיות. כאשר התוצאות הוצגו בגרף (איור ד-6) התברר שקיימת תלות מחזורית בגודלן של אוכלוסיות ארנבות השלג וחתולי השלג. בגרף ניתן להבחין בירידה במספר ארנבות השלג מדי עשר שנים שבעקבותיה חלה גם ירידה במספר טורפיהן.

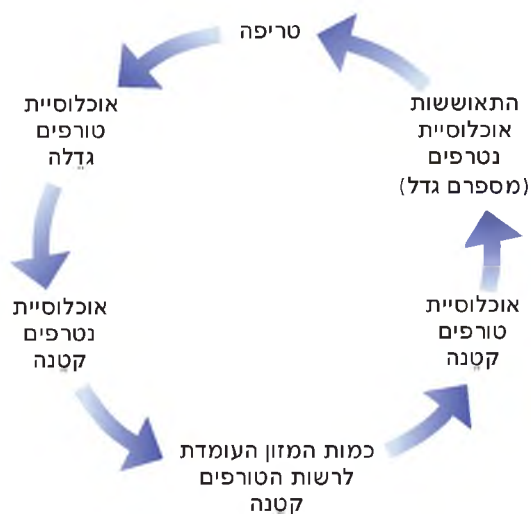


איור ד-6: המחזוריות במספר ארנבות השלג וחתולי השלג שניצודו בצפון אמריקה בשנים 1845-1953

**כיצד אפשר להסביר מחזוריות כזו?**

את המחזוריות בגודל אוכלוסיות אפשר להסביר כמוצג באיור משמאל.

הסבר זה סביר למדי, אך הוא אינו לוקח בחשבון עוד גורמים רבים הקיימים בטבע ומשפיעים גם הם על גודל שתי האוכלוסיות. אחד מהם הוא כמות המזון הצמחי העומדת לרשות הארנבות. מחקרים נוספים הראו שכמות המזון העומדת לרשות הארנבות משתנה אף היא במחזוריות, והשפעתה על מספר הארנבות גדולה אף יותר מהשפעתו של הטורף. גודלה של אוכלוסיית הארנבות משפיע על גודל אוכלוסיית הטורפים.



**חוקרים אקולוגיה בטבע: עוד על ארנבות וטורפיהן**

בניסוי שנערך ביערות צפון אמריקה בשנים 1976-1994 נבדקו השערות אחדות לגבי הגורמים לשינויים בגודל האוכלוסייה של ארנבות השלג. באזור הניסוי גודרו חלקות ששטחן 1 קמ"ר. מערך הניסוי (הטיפולים) והתוצאות מוצגים בטבלה ד-2.

טבלה ד-2: הישרדות ארנבות השלג בהשפעת טיפולים שונים

מספר הטיפול	מרכיבי הטיפול		
	הוספת דשן לקרקע	הוספת מזון לארנבות	גידור (מונע כניסת טורפים)
1	לא	לא	לא
2	לא	לא	כן
3	לא	כן	לא
4	לא	כן	כן
5	כן	לא	לא

**שאלה ד-7 תשובה בעמוד מ-51**

- אלו השערות נבדקו בניסוי לגבי הגורמים המשפיעים על גודל אוכלוסיית הארנבות?
- רשמו מסקנה אחת מהניסוי.
- ציינו יתרון אחד וחסרון אחד של הניסוי.

הסנדלית וגם הדייניום הם חד-תאיים. הדייניום הוא טורף שמעדיף סנדליות.

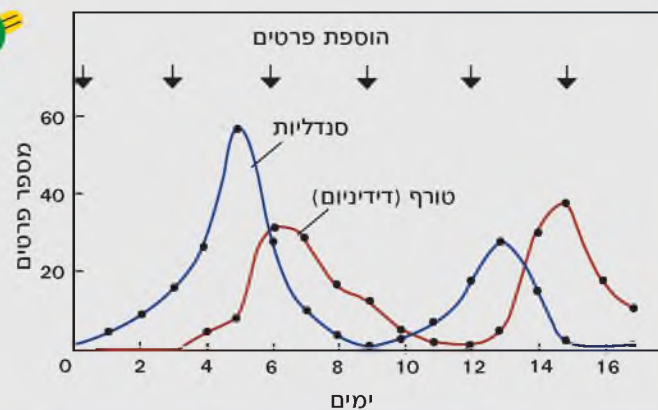
**??** על קושי בניתוח גרפים המתארים התפתחות אוכלוסיות המקיימות יחסי גומלין ראו בטבלה שבעמוד מ-11 סעיף 19.

**חוקרים אקולוגיה במעבדה: מחזוריות בגודלן של אוכלוסיות טורף ונטרף**

בניסוי שנערך על ידי החוקר גאוס (שאותו פגשנו בעמוד 104) הראו את המחזוריות בגודלן של אוכלוסיות טורף ונטרף. בניסוי הוכנסו אורגניזמים חד-תאיים סנדליות וטורף שלהן, דייניום (Didinium), לכלי אחד וכולם גודלו ביחד. מדי שלושה ימים הוספו לכלי סנדלית אחת ודייניום אחד.

**שאלה ד-8 תשובה בעמוד מ-51**

- תארו את התוצאות המוצגות באיור ד-7.
- מהם המשתנים התלויים ומהו המשתנה הבלתי תלוי בניסוי זה?
- הסבירו את השינויים בגודל האוכלוסיות של הסנדלית ושל הטורף.
- גאוס הוסיף מדי פעם פרטים של נטרף ושל טורף למערכת הניסוי. לאילו תהליכים בטבע מקבילה פעולה זו? הסבירו.
- ציינו יתרונות וחסרונות של ניסוי במעבדה.



איור ד-7: השינויים במספר סנדליות וטורף שלהן (דייניום) עם הזמן

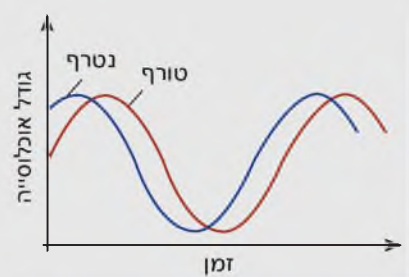
באיור ד-8 לא צוין קנה המידה על הצירים ואפשר להבין בטעות שגודל האוכלוסיות של הטורף ושל הנטרף דומה. לרוב גודל אוכלוסיית הטורף קטנה בהרבה מגודל אוכלוסיית הנטרף או הנאכל.



היכן הגמל שלמה?

**חוקרים אקולוגיה: בעזרת המתמטיקה**

יחסי הגומלין בין טורף לנטרף מראים חוקיות מסוימת: עלייה במספר הטורפים גורמת לירידה במספר הנטרפים ולאחריה חלה גם ירידה במספר הטורפים. התאוששות אוכלוסיית הנטרפים מביאה בעקבותיה לעלייה במספר הטורפים וחוזר חלילה. שני חוקרים, לוטקה וולטרה (Lotka and Volterra), הצליחו (בשנת 1925) לבטא את החוקיות הזו באמצעות נוסחה מתמטית שבעזרתה ניתן לחשב את השינויים בגודל אוכלוסיות של טורף ונטרף. נוסחה כזו היא למעשה מודל שבאמצעותו ניתן לחזות שינויים עתידיים בגודל האוכלוסיות על סמך הנתונים של האוכלוסיות האלה, כמו: גודלה ההתחלתי, שיעורי הילודה ושיעורי ההצלחה בטרופה (איור ד-8).



איור ד-8: שינויים עם הזמן בגודלן של אוכלוסיות טורף ונטרף מחושבות על פי המודל של לוטקה וולטרה

**הימלטות מטריפה**

כושרו של אורגניזם להימלט מטריפה היא, כמובן, תכונה מועילה. קיימות בטבע התאמות רבות המאפשרות הימלטות, הסתתרות והקטנת סכנת הטרופה. בדומה להתאמות האחרות שתוארו (פרק א) גם התאמות אלה ניתן לסווג ל-3 סוגים: התאמות מבנה, התאמות פיזיולוגיות-ביוכימיות והתאמות התנהגותיות (טבלה ד-3).

טבלה ד-3: התאמות להימלטות מטריפה

דוגמאות		סוג ההתאמה
צמחים	בעלי חיים	
קוצים בוורדים, עלים קשים באלון, שערות צורבות בסרפד, זרעים מוגנים בקליפה קשה. ניצני ההתחדשות צמודים לפני הקרקע ואינם בהישג הטורף (דגניים), והצמח יכול להתחדש גם לאחר שעליו נאכלו.	שריון ו"נשק הגנה": קוצים בקיפוד ובדורבן, שריון הצב, כיסוי הגוף של הצדפה, החילזון והסרטן. הסוואה באמצעות חיקוי בצבע או בצורה, למשל: חרקים דמויי עלים, דגם צבעים מאיים בפרפרים, צבעים בולטים המעידים על רעילות.	התאמת מבנה
יצירת חומרי הגנה רעילים (הרדוף), הפרשה לסביבה של חומרי אזהרה נדיפים בצמחים (חומצה יסמונית ביסמין), הפרשת מיץ חלבי צורב בתאנה ושרף באורן.	יצירה ו/או הפרשה של חומרים דוחים/רעילים (בואש, חרקים, ארס נחשים, חומרי צריבה במדוזות), חשמל בדגים.	התאמה פיזיולוגית-ביוכימית
	בריחה. חיקוי: "העמדת פני מת" באופוסום (חית כיס אמריקאית). תצפית והשמעת קולות אזהרה (נמיות, דולפינים, ציפורים). הצגת עמדה מאיימת: סימור שערות, חשיפת שיניים (חתול).	התאמה התנהגותית



צבעי הסוואה בכרוון

### החיקוי כאמצעי להימלטות מטריפה

תופעה מיוחדת המסייעת ליצור להימנע מטריפה היא החיקוי. לחיקוי צורות שונות: חיקוי בצורה ובצבע, חיקוי בהתנהגות וחיקוי ביוכימי. החיקוי של הנטרף גורם לטורף ל"התבלבל" ו"לחשוב" שלפניו עצם דומם, או יצור לא טעים, רעיל או מסוכן וכך הוא יימנע מטריפתו.

**חיים זה לצד זה של חקיין ו"מודל"** (קטע ממאמר: לעולם לא לבד – שיתופיות מיטיבה עם השותפים)  
**מאת:** לב פישלזון **מתוך:** טבע וארץ, ל"ה (5), 15–19 (1992).

חיקוי מושלם קיים אצל הקרנונים, דגים קטנים החיים בסביבת אלמוגים. כאן חי קרנון ארסי כחול-צהבהב, שבפיו שתי בלוטות ארס קטנות ושיניים שבעזרתן הוא נוגס ומזריק את הארס כאשר הוא מותקף. מניסויים רבים בשונית התגלה, שדגים טורפים מכירים את הדג הזה ואינם מתקיפים אותו. והנה מתברר שעל יד הקרנון הארסי חיה קרנונית חקיינית, הדומה לו כמעט באופן מושלם, בצורה, בצבע ואפילו בהתנהגות. טורפים שנזהרים מלגעת בקרנון הארסי, נמנעים גם מתקיפת הקרנונית החקיינית. הצלחת החקיין תלויה בהימצאותו של המודל, במקרה זה הקרנון הארסי, בסביבתו. ללא מודל שיתופי ל"רמאות" יטרפוהו הדגים ללא היסוס.



קרנון ארסי



קרנונית

**שאלה ד-9** תשובה בעמוד מ-52  
 הסבירו מדוע תלויה הצלחת החקיין בחיים לצדו של המודל?

בכל תופעה של חקיינות יש שלושה "שחקנים": מודל, חקיין, וטורפו של החקיין. ראו: התנהגות בע"ח, עמוד 89.



דבורנית

### מעניין לדעת

לעתים יש לחיקוי תפקיד חשוב אחר, לאו דווקא בהימנעות מטריפה, למשל: החיקוי של פרח הדבורנית לדבורה, מסייע לצמח זה למשוך מאביקים (דבורים) אל הפרח.

### חיי שיתוף (סימביוזה)

לצד יחסי הגומלין שתוארו עד כה – התחרות והטריפה – מתקיימים בבית הגידול גם יחסי גומלין אחרים המבוססים על **חיי שיתוף** בין המינים. השם שניתן ליחסי גומלין אלה הוא **סימביוזה**. בסימביוזה מתקיים קשר הדוק בין השותפים לתקופות זמן ארוכות, לעתים בכל מהלך חייהם. הסימביוזות השונות בטבע הן מגוונות, ונוהגים למיין אותן על פי מידת שיתוף הפעולה בין השותפים, על פי מידת הנזק הנגרם ועל פי התועלת שמפיקים השותפים מן הקשר ביניהם. בסעיפים הבאים נתאר שלושה סוגים של חיי שיתוף: טפילות, קומנסליזם והדדיות (מוטואליזם).

חיי שיתוף: יש המסווגים לסימביוזה רק את תופעת ההדדיות (המוטואליזם). ראו גם: על"ב, 151, עמודים 97–100.

■ טפילות

סימביוזה מסוג **טפילות** מבוססת על תלות של אורגניזם אחד – **הטפיל** – באורגניזם אחר – **הפונדקאי**. הטפיל חי בתוך גופו של הפונדקאי או עליו, ניזון ממנו ונהנה מסביבת חיים נוחה ומוגנת.

המאפיינים של יחסי טפיל-פונדקאי הם אלה:

1. הטפיל קטן, בדרך כלל, מהפונדקאי.
2. מספר רב של טפילים חיים "על חשבוננו" של פונדקאי אחד.
3. קיימת תלות ייחודית רבה (ספציפיות) בין הטפיל לפונדקאי, תלות זו מבוססת על התאמה מרבית בין המבנה לבין התפקוד של שני השותפים.

לעתים גורם הטפיל למותו של הפונדקאי, ולכן אפשר לראות ביחסים אלה גם יחסי טורף-נטרף.

דוגמאות לטפילים:

1. טפיל המלריה והאדם
2. פטריות טפילות על צמחים (קימחון וחילדון בצמחי חקלאות)
3. צמחים טפילים על צמחים אחרים (דבקון הזית, הרנוג השיטים, עלקת)
4. וירוסים (בקטריופאג'ים) טפילים על חיידקים
5. חיידקים ווירוסים גורמי מחלות באדם, בצמחים ובבעלי חיים.



הרנוג השיטים



דבקון הזית על שקד



יחנוק המדבר



עפצים (גידול על איבר בצמח כתגובה להדבקה על ידי טפיל)

שאלה ד-10 תשובה בעמוד מ-52



השוו בין טפילות לבין טריפה. התייחסו ליחסי אוכל-נאכל בפירמידה האקולוגית, לייחודיות וליחסי הגודל.

תופעת הטפילות מעוררת שאלות מעניינות ביותר, שלמקצתן אין תשובה, עד היום. העניין הרב בטפילות נובע מחשיבותה הרבה של התופעה לחקלאות ולחיי האדם ובריאותו. כמה שאלות יוצגו כאן:

- כיצד אפשר להסביר את התפתחות ההתאמה הייחודית בין הטפיל לפונדקאי במהלך האבולוציה?
- מהו היתרון לטפיל מההתאמה המרבית בינו לבין הפונדקאי שלו? האם להתאמה זו יש גם חיסרון?
- במקרים רבים הטפיל אינו גורם למות הפונדקאי. מה היתרון לטפיל מכך?

השאלות האלה מתאימות לדיון בכיתה.



שיטות הדברה ראו בפרק ז.

בעין חקלאית



ההתמודדות של החקלאים עם טפילים היא באמצעות שיטות ההדברה השונות: הדברה כימית, הדברה ביולוגית והדברה משולבת, וכן באמצעות טיפוח זנים עמידים בפני טפילים.



**טפילות התנהגותית-חברתית**

דוגמה מיוחדת של טפילות, ניצול אורגניזם אחד על ידי אחר תוך גרימת נזק, היא **הטפילות החברתית** של הקוקיה: הקוקיה מטילה את ביציה בקן של ציפור אחרת, וגוזלי הקוקיה שבוקעים מסלקים את ביצי הציפור הפונדקאית, וזו באין ברירה, מגדלת את גוזלי הקוקיה. טפילות דגירה אינה ייחודית לקוקיה והיא קיימת גם אצל מינים אחרים. היא נצפתה בין פרטים מאותו מין וגם בין מינים שונים. יש מיני ציפורים המנהלות "מדיניות מעורבת": על מקצת ביציהן הן דוגרות בעצמן ומקצתן הן מפקידות בקנים זרים באורח טפילי.



קוקיה



**שאלה ד-11 תשובה בעמוד מ-52**

- א. אילו משאבים של הפונדקאי מנצלת הקוקיה?
- ב. ציינו יתרונות של "מדיניות מעורבת": דגירה עצמית יחד עם טפילות דגירה.

**קומנסליזם**

**הקומנסליזם** הוא צורה של חיי שיתוף המועילה לשותף אחד בלי להזיק או להועיל לאחר. דוגמה ליחסים כגון אלה היא צמחים הגדלים על צמחים אחרים, אך אינם טפילים עליהם (אֶפִּיפִּיטִים).



אפיפיטים (אקוודור)

**האפיפיטים** נפוצים בג'ונגלים ואורח חייהם המיוחד מאפשר להם להגיע אל האור בלי לגדול בקרקע. האפיפיטים הם אוטוטרופים ומייצרים חומרים אורגניים בפוטוסינתזה. בעזרת שורשי אוויר מיוחדים הם קולטים את המים מהאוויר הלח שסביבם, את המינרלים הם קולטים מאבק ומעפר המצטבר בחריצים שבקליפות העצים. לחלק מהאפיפיטים רקמות בשרניות אוגרות מים בדומה לצמחי מדבר.



**שאלה ד-12 תשובה בעמוד מ-52**

- אף שיחסי הגומלין בין אפיפיט לבין העץ שעליו הוא גדל מוגדרים כקומנסליזם, האם ייתכן שהעץ בכל זאת נפגע מהשותפות? נמקו.

**ריבוי פנים של תופעות באקולוגיה: קומנסליזם - תועלת אך ייתכן גם נזק.**

**הדדיות (מוטואליזם)**

ההדדיות הוא צורה של חיי שיתוף המועילה לשני הצדדים. דוגמה מוכרת לרבים היא **החזזית** הבנויה מפטרייה ומאצה ירוקה (איור ד-9). האצה הירוקה מבצעת פוטוסינתזה שמתוצריה נהנית גם הפטרייה. הפטרייה מספקת לאצה סביבת חיים מוגנת, לחה ועשירה במינרלים.



איור ד-9: חזזית על עץ כרות

**איור ד-9: לעתים קרובות רואים חזזיות על ענפים יבשים או חולים של עץ. הסיבה לכך היא שבעץ היבש או החולה לא מופעלים מנגוני הגנה מפני הפטריות המתיישבות עליו.**

למיקרוֹאורגניזמים יש מקום חשוב ביחסי הדדיות כפי שאפשר לראות מהדוגמאות הבאות: **אצות ואלמוגים:** האלמוגים החיים בשוניות הם בעלי חיים קבועי מקום. את מזונם הם מקבלים בשתי דרכים: איסוף מהמים וניצול תוצרי פוטוסינתזה המיוצרים על ידי אצות חד־תאיות – זואוקסנטלה החיות בתוך תאי האלמוגים.

**החיידקים בפקעיות השורש של צמחי קטניות:** חיידקים אלה מסוגלים לקבע חנקן חופשי מהאוויר לתרכובת זמינה לשימוש הצמח. הצמח נהנה מתרכובות החנקן ומספק לחיידקים תרכובות פחמן אורגניות וסביבה מתאימה לגידולם.

**החיידקים החיים במערכת העיכול של האדם:** המעינים הם סביבת חיים עשירה במזון ובלחות ובעלת טמפרטורה קבועה ונוחה המאפשרת גידול מהיר של החיידקים. החיידקים מייצרים ויטמינים שונים (מקבוצה B) שהאדם אינו יכול לייצר בעצמו, וכך הוא נהנה משותפות זו. **חיידקים במערכת העיכול של מעלי הגירה:** חיידקים אלה מעכלים את התאית – מרכיב שכמותו גדולה ביותר במזונם של אוכלי העשב, אך הם אינם מסוגלים לעכל אותה. גם הם, כמו החיידקים במערכת העיכול של האדם, נהנים מסביבת חיים נוחה ומאספקה של חומרי גלם להזנתם.



**חיידקים בפקעיות שורשי קטניות ראו בפרק ג.**



**ביולוגיה של האדם: גם בני אדם לא מעכלים תאית והיא מופרשת בצואה.**

טרמיטים הם דוגמה נוספת ליצורים הנעזרים באחרים – בפטריות – לשם עיכול תאית.

אפשר לבדוק מה הן התועלות (המוצהרות על ידי היצרנים) של מוצרי חלב מועשרים בחיידקים.

### מעניין לדעת

החיידקים עצמם מהווים מזון חלבוני עשיר לפרה. הם מנצלים את תוצרי העיכול של הפרה לבניית חלבוני גופם. בעלי החיים מעלי הגירה הם חוליה בשרשרת מזון ייחודית: צמחים ← חיידקים ← פרה.

### שאלה ד-13 תשובה בעמוד מ-53

איך תיראה פירמידה אקולוגית של מספרים המייצגת את שרשרת המזון המתקיימת במעי של מעלי הגירה? סרטטו והסבירו.

בשנים האחרונות הולכת וגוברת ההכרה בחשיבותם של יחסי גומלין מוטואליים בין שורשי צמחים לבין פטריות, חיי שיתוף אלה מכונים **מיקוריזה** (מצירוף המילים הלועזיות שורש ופטרייה). מיקוריזה מוכרת בעץ אורן המקיים חיי שיתוף עם הפטרייה אורנייה. היא קיימת גם ברוב הצמחים העשבוניים, כולל דגניים וקטניות. מקצת מקורי הפטרייה חודרים לתוך השורש והמשכם יוצר סביב השורש רשת סבוכה של קורים. הרשת פועלת כ"המשך" של השורשים וסופגת מינרלים במרחק גדול מזה שאליו מגיעים השורשים והיונקות. בכך מגדילה הפטרייה את יכולת קליטת המינרלים על ידי השורשים, בעיקר תרכובות זרחן שהן בזמינות נמוכה בקרקע, בייחוד בקרקע חומצית. יתרון נוסף לצמחים מחיי השיתוף עם הפטרייה הוא הגנה על השורשים מפני פתוגנים (חיידקים, פטריות אחרות וטפילים).

### ומה היתרון לפטרייה?

נראה שהתועלת העיקרית לפטרייה היא בכך שהשורשים מהווים מקור רציף וזמין של תרכובות פחמן אורגניות, תוצרי הפוטוסינתזה, שהועברו מהעלים אל השורשים.







הנמלה החקלאית  
(קוסטה ריקה)

קטעי העלים גורסות "פועלות" בתוך הקן לחתיכות קטנות ועל המצע של קטעי עלים גרוסים הן מגדלות פטריות. הפטריות הן המזון לנמלים אלה.

יחסי הגומלין בין הנמלים לבין הפטריות הם יחסי גומלין מסוג הדדיות: הנמלים מספקות לפטריות מזון (עלים) וסביבה נטולת מתחרים (שמרים, פטריות אחרות) ומזיקים (חיידקים). הפטריות מעכלות את העלים וניזונות מהם והן עצמן מהוות מזון לנמלים. מחקרים נוספים הראו שבמהלך פירוק העלים מנוטרלים גם חומרים רעילים (המצויים בעלים ומשמשים לצמחים אמצעי הגנה מפני אוכלי צמחים) ומשתחררים לסביבה מינרלים חיוניים לנמלים.

יחסי הגומלין בין הנמלים לבין הפטרייה הם סיפור הצלחה: במערכת חקלאית כזו יכולים להתקיים יותר ממיליון נמלים, והקן התת־קרקעי יכול להגיע עד לעומק של כ־6 מטרים. קן כזה גם משפיע על סביבתו הקרובה לחיוב ולשלילה. השפעה חיובית: העשרת הקרקע בחומרים אורגניים (שאריות עלים, פטריות ונמלים). השפעות שליליות: פגיעה בעלים (12%–17% מהעלים ביער הגשם נקצצים על ידי הנמלים) והשינויים החלים במרקם הקרקע בגלל מערכת הקנים. הנמלים החקלאיות גם גורמות נזק מחוץ ליער, לגידולים של חקלאי אחר – האדם.

שאלה ד-15 תשובה בעמוד מ-53



מהי שרשרת המזון שבה משתתפות הנמלים והפטריות?



1 גם נמלת הקציר היא "יצור חקלאי" ויחסי הגומלין שלה עם הצמח גדילן רומזים על כך.

נמלת הקציר ניזונה בעיקר מזרעים ומפירות שהיא אוספת ממקומות רחוקים ומביאה לקן. מהקצה של זרעוני הגדילן שהיא אוספת היא מסירה את הגופיף השומני המזין, ואילו את השאר היא משליכה אל מחוץ לקן ("זורעת") בלי לפגוע בכושרו של הזרע לנבוט.



צמחי הגדילן הנובטים לאחר רדת הגשמים וגדלים מסביב לקיני הנמלים הם גדולים וניכר שהם גדלים בקרקע פורייה, מאווררת ועשירה בחנקות ובתרכובות זרחן ואשלגן (שמקורם בשאריות חומרים אורגניים שפורקו). הריכוז הגדול של צמחי גדילן סביב לקן מספק לנמלים "יבול" של זרעונים בעלי גופיף שומני החיוני להזנת הנמלים הצעירות, ויתרה מכך העלים הרחבים של הגדילן מצלים על הקן בימים חמים. המקבצים של צמחי הגדילן המתפתחים סביב לקני הנמלים בולטים למרחוק עד כדי כך שניתן לזהות באמצעותם את מיקומם של הקנים.



1. קבוצות של צמחי גדילן בשדה
2. קן נמלים וסביבו צמחי גדילן
3. פרח של גדילן

## סיכום: מאפיינים של יחסי גומלין

בטבלה ד-4 מוצגים יחסי הגומלין העיקריים והשפעתם על שני השותפים. בטבלה נכללו יחסי השיתוף למיניהן וכן טריפה ותחרות.

טבלה ד-4: טבלה מסכמת של יחסי הגומלין

חיי שיתוף		טפילות	טריפה	תחרות		
הדדיות	קומנסליזם			תחרות הפרעה (למשל: אללופתיה)	תחרות ניצול	
+	+	+	+	+	-	שותף א
+	0	-	-	-	-	שותף ב

מקרא: + מפיק תועלת - ניזוק 0 אינו מפיק תועלת ואינו ניזוק

נוח למיין את יחסי הגומלין כפי שמוצג בטבלה ד-4, אך במציאות של חיי האורגניזמים המגוון של יחסי הגומלין הוא רב יותר והם יכולים להיות בכל נקודה על הרצף. למשל הפונדקאי נפגע מהטפיל אך במקרים רבים הטפיל לא הורג אותו.

יש הבוחרים לתאר את יחסי הגומלין כרצף אחד ולא כיחידות נפרדות. לאורך רצף כזה ייתכנו כל מצבי הביניים החל מיתרון ברור לאחד השותפים ועד לפגיעה קשה באחד השותפים ויתרון לאחר.

בסעיף הדן בטריפה (עמוד 108) הוצגה נקודת המבט הזו: הטריפה מזיקה לפרט הנטרף, אך בצד הנזק יש בה גם יתרונות לאוכלוסייה. דבר דומה ניתן לומר על אללופתיה: הפרשת חומרים לסביבה מפריעה לאורגניזמים אחרים אך היא גובה "מחיר" אנרגטי הכרוך בסינתזה של חומרים אלה והם עלולים להפריע גם לצמח המפריש עצמו ולמנוע מזרעיו לנבוט.

העץ שעליו מתפתח הפיקוס החונק נפגע מהתחרות על המשאבים אך בנוסף לכך אינו יכול לפתח מערכות הובלה חדשות בהיקף הגזע והוא מת בשל כך.

### מעניין לדעת: הפיקוס החונק (Strangler fig): אפיפיט שהופך לטפיל

אחד הגורמים המגבילים בעומק יער הגשם הטרופי הוא האור. מטפסים ואפיפיטים מותאמים למצב זה וגדלים על גבי עצים אחרים וכך נחשפים לאור מבלי לגרום נזק ניכר לעצים המשמשים להם כ"סולם" אל האור. יחסי גומלין אלה תוארו כקומנסליזם.

מינים של עצי פיקוס (קרובי משפחתה של התאנה) נוהגים בדרך תוקפנית יותר. בתחילת חייהם הם נוהגים כאפיפיטים. העץ מתחיל את חייו בזרע שנובט על ענפיו הגבוהים של עץ. איך הגיע הזרע למרומי העץ? פירות הפיקוס הם מאכל אהוב על ציפורים ויונקים (כולל קופים) ולאחר אכילת הפרי הם מפרישים את הזרע (ללא פגע) בצואה על ענפי העץ. אלא שהנביטה על הענף אינה מבטיחה חיים לאורך זמן וכדי שהנבט יוכל להתפתח לעץ הוא זקוק למים ולמינרלים מהקרע. הנבט מצמיח שורשים ארוכים המגיעים לקרקע, מתפתחים שם ומתחרים עם שורשי העץ שעליו נבט הצמח. האספקה המוגברת של מים ומינרלים והחשיפה לאור בצמרת העץ מסייעת להתפתחות עלים וענפים רבים. התחרות על המים והמינרלים גורמת לכך שהעץ ה"מארח" אינו יכול להתפתח והוא "נחנק" ומת מחוסר משאבים. התהליך הוא אטי ונמשך שנים. בסופו של התהליך נותרת רשת השורשים של הפיקוס המקיפה חלל ריק (איור ד-11).



איור ד-11: הפיקוס החונק: העץ שעליו התפתח הפיקוס - מת (אוסטרליה).



### ד3. גורמים המשפיעים על גודל האוכלוסייה

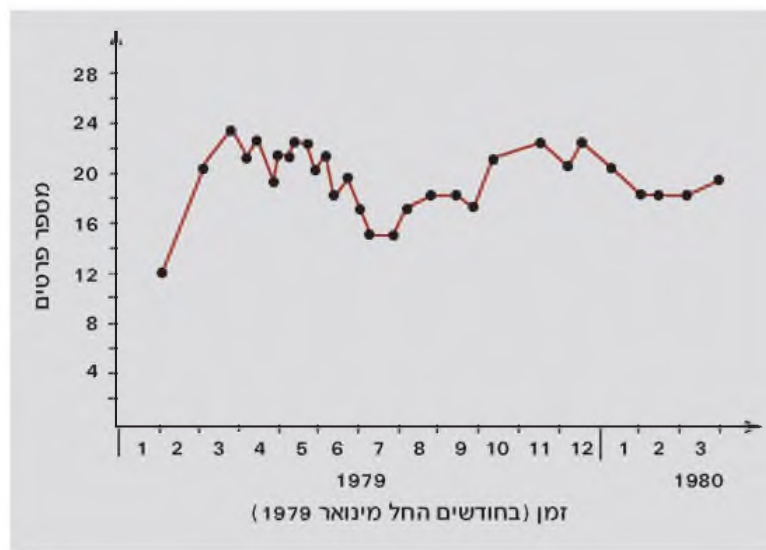
אחד ממוקדי המחקר באקולוגיה עוסק בשאלות הנוגעות לגורמים המשפיעים על **גודל אוכלוסיית**. להזכירכם: אוכלוסייה היא קבוצת פרטים ממין מסוים החיה באזור מסוים בזמן מסוים. בבתי גידול רבים מתקיימת החברה במשך שנים רבות בלי שיחולו בה שינויים מרחיקי לכת. יחד עם זאת, גודלן של האוכלוסיות בבית הגידול אינו קבוע לגמרי, אלא משתנה ללא הרף. המורכבות של בית הגידול מקשה על הצופה החוקר להבחין בשינויים באוכלוסייה מסוימת, חוץ ממקרים של אסון טבע (מחלה, שרפה וכדומה) שהכחיד אוכלוסייה שלמה. בשינויים קטנים החלים בגודלה של אוכלוסייה מסוימת קשה להבחין ורק תצפיות מדויקות ומעקב לאורך זמן יכולים להצביע על שינויים כאלה. לא בכל מקרה ניתן להציע הסבר לשינויים אלה.

הכחדות מתרחשות גם ללא התערבות האדם אם כי הקצב שבו הן מתרחשות באופן טבעי הוא איטי הרבה יותר מאשר ההכחדות מעשי ידי האדם.



עורב אפור

התבוננות בטבע שסביבנו מלמדת שגודלן של אוכלוסיות משתנה עם הזמן ובמרחב. דוגמה לכך היא אוכלוסיית הצבאים ברמת הגולן: בשנת 1983 מנתה אוכלוסייה זו כ־5,000 פרטים ובשנת 2005 נמנו פחות מ־200 פרטים. הירידה החדה בגודל האוכלוסייה נובעת מהרג מכון, התפרצות מחלות ומהתרבות טורפים – זאבים ותנים. דוגמה נוספת מוכרת לתושבי ירושלים: מספרם של העורבים האפורים ברחבי העיר גדל עד למאוד בשנים האחרונות והם נראים בכל פינה. הדוגמאות הללו של תנודות חדות בגודלן של אוכלוסיות בולטות לעין בעיקר בצמחים או בבעלי חיים המושפעים מאוד ממעורבות האדם. אולם גם בלא התערבות האדם צפו אקולוגים בתנודות בגודל האוכלוסיות (איור ד-12).



איור ד-12: השתנות גודלה של אוכלוסיית גרביל החוף (יונק מכרסם) במרכז הארץ

בשונה מהמוצג באיור ד-6 (עמוד 109) התנודות באוכלוסיית גרביל החוף תועדו במשך שנה וחצי בלבד.

בכל רגע נתון גודל האוכלוסייה הוא תוצאה של פעולתם של גורמים רבים שניתן לחלקם לקבוצות אלה (איור ד-13):

- **גורמי (מאפייני) האוכלוסייה:** שיעורי לידה ומוות של פרטים, תחרות בין פרטים (תחרות תוך־מינית), יחסי שיתוף ועזרה בין פרטים (בהגנה ובהשגת מזון), הגירה אל האזור וממנו.
- **גורמי סביבה א־ביוטיים:** תנאי האקלים (בצורת, שיטפון, שרפה, שינויים קיצוניים בטמפרטורה), זמינות של משאבים א־ביוטיים (מים, מינרלים, אור וחמצן), זיהום (מינרלים, מלח, נפט, חומרי הדברה).
- **גורמי סביבה ביוטיים:** זמינות מזון, יחסי גומלין ויחסי שיתוף חיוביים (הדדיות) ושליליים (טפילות וגורמי מחלה, טריפה, ותחרות מצד מינים אחרים).



איור ד-13: הגורמים המשפיעים על גודל אוכלוסייה

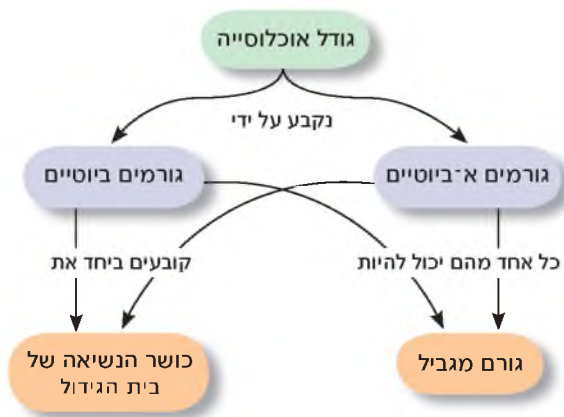
הגורמים המצוינים באיור ד-13 עשויים להשפיע על האוכלוסייה בכיוונים מנוגדים; יש גורמים התורמים לגידול האוכלוסייה, כגון לידה, הגירה מאזור אחר וגידול בזמינות המזון. ולעומת זאת יש גורמים שהשפעתם מתבטאת בהקטנה של מספר הפרטים באוכלוסייה, כגון בצורת, התפרצות של טפילים או גורמי מחלה ועלייה בגודלה של אוכלוסיית הטורפים או הגעה של מתחרים מאזור אחר.

### הרחבה: גורמים תלויי צפיפות והשפעתם על גודל האוכלוסייה

התמונה הזו מסתבכת יותר כאשר בוחנים את השפעת צפיפות האוכלוסייה (מספר הפרטים ליחידת שטח) על מידת השפעתו של גורם כלשהו. למשל, התחרות בין פרטים באוכלוסייה (בעיקר תחרות ניצול) גוברת כאשר גדל מספר הפרטים ביחידת שטח, כלומר הצפיפות גדלה, ולכן השפעתה מתוארת כ"תלוית צפיפות". הוא הדין לגבי מחלות וטפילים המועברים בין פרטי האוכלוסייה. לא כך הדבר כאשר הגורם המשפיע הוא שרפה או בצורת. במקרה כזה הסיכוי של פרט באוכלוסייה להיפגע אינם תלויים בצפיפות האוכלוסייה ברגע האסון, ולכן זהו גורם ש"אינו תלוי צפיפות".

גם בתנאים מיטביים מספר הפרטים באוכלוסייה אינו יכול לגדול עד אין סוף. זוהי אחת הסיבות לחששות בקשר לגידול המתמשך במספר בני האדם בכדור הארץ.

**באילו תנאים ייפסק גידולה של אוכלוסייה ומספר פרטיה יתייצב?**



כדי להשיב על שאלה זו יש לבחון אילו הם המשאבים שהאוכלוסייה זקוקה להם לשם גידולה. כל משאב עלול להיות הגורם המגביל את גודלה של האוכלוסייה. מספר הפרטים המרבי של מין מסוים שיכול להתקיים בבית הגידול נקרא **כושר הנשיאה** של בית הגידול לגבי מין זה. איור ד-14 מתאר את הקשר בין המושגים.

איור ד-14: הקשר בין המושגים: גודל אוכלוסייה, גורם מגביל וכושר נשיאה

**בעין חקלאית: הדברה ביולוגית של אוכלוסיית הנברנים בבקעת בית שאן**

זה שנים סובלים החקלאים בבקעת בית שאן ממכת נברנים הפוגעים ביבולים. מעקב רב שנים, שהחל כבר בתחילת המאה ה-20, הראה שמדי כמה שנים גדלה בבת אחת אוכלוסיית הנברנים ("התפרצות"), ואז נזקיה גדולים במיוחד. כדי להקטין את הנזקים פיזרו החקלאים בשדות רעל הממית את הנברנים. אולם הרעלת הנברנים גרמה בעקבותיה להרעלת עופות הניזונים מהם, כמו הבז האדום והנץ המצוי, וגם להרעלת יונקים אחרים שלא פגעו ביבולים. פגיעה בטורפים גם עלולה הייתה לגרום לגידול באוכלוסיית הנברנים. כדי להתגבר על הבעיה החלו בשנות השמונים של המאה ה-20 להציב תיבות קינון לתנשמות בשטחים החקלאיים של בקעת בית שאן. הגידול באוכלוסיית התנשמות הניזונות בעיקר מנברנים צמצם מאוד את הנזק לחקלאים בלא שפגע פגיעה של ממש בבעלי חיים אחרים בלתי מזיקים. רצף האירועים ומשמעותם האקולוגית מוצגים בטבלה ד-5.



תיבות קינון לתנשמות (אגמון החולה)

טבלה ד-5: רצף האירועים בהדברה ביולוגית באמצעות תנשמות

האירוע	משמעות אקולוגית
1. יצירת שטחי חקלאות	שפע מזון מגדיל את כושר הנשיאה לנברנים
2. התרבות הנברנים	תחרות על המזון בין הנברנים לחקלאי
3. הדברה כימית	פגיעה באוכלוסיית העופות הדורסים עד כדי הכחדה
4. הצבת תיבות קינון לתנשמות	הגדלת כושר הנשיאה לתנשמות
5. הדברה ביולוגית	טריפת הנברנים על ידי התנשמות והקטנת אוכלוסייתם

**שאלה ד-16 תשובה בעמוד מ-53**

העלו השערות: מה יקרה בשדות שבבקעת בית שאן לאחר שנים רבות?



## ד4. מעורבות האדם ביחסי הגומלין בטבע

לבני האדם יש תפקיד מרכזי, ולא דווקא חיובי, ביחסי הגומלין בטבע. האדם מכחיד מינים שונים שהוא ניזון מהם (בעיקר דגים), אך גם מינים רבים אחרים המשמשים למטרות שונות. למשל: הביקוש לשומן לווייתנים, לקרן הקרנפים, לשנהב של חטי פילים, לפרוות יונקים גדולים, לעצים משובחים לבניית רהיטים גורם בהדרגה להכחדתם של מינים אלה. בשנים האחרונות נעשים מאמצים בין־לאומיים לצמצום הפגיעה באורגניזמים אלה.



כרזה נגד ציד קרנפים באפריקה

השימוש בקוטלי מזיקים בחקלאות הוא דוגמה נוספת למעורבות האדם בסביבה הטבעית. החקלאים משתמשים בחומרים אלה כדי להגן על הגידולים, אך בצד התועלת הרבה יש גם נזק. פגיעה במרכיב אחד של מארג המזון פוגעת במסכת יחסי הגומלין הטבעיים, ותוצאותיה עשויות להיות חמורות.

השימוש בחומרים כימיים כקוטלי מזיקים וכקוטלי עשבים נושא בחובו סכנה נוספת. מספר פרטים עשויים להיות עמידים לחומר, הם יתרבו ובמרוצת הזמן תעלה שכיחותם של העמידים באוכלוסייה. בסופו של דבר תפתח אוכלוסייה שהיא עמידה לחומר והוא יהיה חסר תועלת. כדי להקטין סכנה זו מומלץ להשתמש לסירוגין, בשנים שונות, בקוטלי עשבים המבוססים על מנגנוני פעולה שונים. גם השיטה של **מחזור גידולים** מקטינה את הסכנה של התפתחות העמידות.

התחליף לחומרי ההדברה הכימיים הוא **הדברה ביולוגית** שבה משתמשים בטורף או בטפיל של האורגניזם המזיק. בהדברה ביולוגית החקלאי מתערב ביחסי הגומלין על ידי הכנסה של אורגניזם שלא היה קיים במערכת או על ידי הגדלה מלאכותית של אוכלוסייתו. דוגמה להדברה ביולוגית היא הניסיון שנעשה בארץ להתגבר על מכת היתושים על ידי הוספת דגי גמבוזיה לבתי הגידול של היתושים, כפי שמתואר במאמר הבא.

### הדברת יתושים בעזרת דגי גמבוזיה (קטע ממאמר)

**מאת:** גילה שניידר **מתוך:** הביוספירה כ"א (12), 16–18 (1992).

דג הגמבוזיה משמש בארץ להדברת יתושים מאז שנת 1924. זהו דג קטן שאורכו המרבי כ־7 ס"מ. הנקבה משריצה במשך חודשי הקיץ, אחת ל־3 שבועות, כ־50 דגיגים בכל השרצה. הדגים מחפשים את מזונם בשטח שעל פני המים, ועל כן זחלי היתושים מהווים טרף נוח עבורם.

לאחר הסערות העזות בחורף 91/92, פוזרו 15,000 דגי גמבוזיה במקווי מים. המעקב והניטור אחר התפתחות יתושים נמשך עד התייבשות האגמים העונתיים והממצאים הצביעו על כך כי לא התפתחו מוקדי דגירה של יתושים במקום שבו היו דגי גמבוזיה. בבריכות שלא התייבשו המשיכה אוכלוסיית הגמבוזיות להתקיים גם בקיץ, ובחלקן הדגים חיים ברציפות כמה שנים.

שימוש בדגי גמבוזיה להדברת יתושים יכול להחליף ייבוש מקווי מים באמצעות עבודות עפר שעולות ממון רב. מתברר שהשימוש בדגי גמבוזיה למניעת התרבות יתושים זול בהרבה גם



**הכחדת מינים, ניצול יתר של דגים ראו בפרק ז.**



**מחזור גידולים, שימוש לסירוגין בחומרי הדברה שונים והדברה ביולוגית ראו בפרק ז.**



משיטות חלופיות אחרות, כמו למשל: טיפול מונע באמצעות חומרי הדברה, שצריך לבצע כל עשרה ימים במשך חודשיים ועלותו גבוהה מעלות רכישתם של דגים ופיזורם במקווי מים. מלבד החיסכון בכסף נמנע זיהום מי התהום על ידי חומרי ההדברה. לאחרונה התגלתה תנגודת אצל יתושים לחומרים כימיים מסוימים. ההדברה הביולוגית חוסכת הדברה כימית, ומאפשרת לשמור על המערכת הביולוגית תוך פגיעה בזחלי היתושים בלבד.

שאלה ד-17 תשובה בעמוד מ-54



בקטע צוינה התנגודת שפיתחו היתושים לחומרים כימיים. האם תהליך דומה יכול להתרחש גם לגבי ההדברה הביולוגית? הסבירו.

### מעניין לדעת: גם אתם יכולים להתמודד עם מכת היתושים



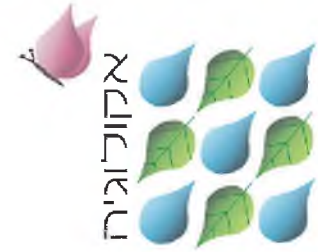
המשרד להגנת הסביבה ומשרד הבריאות ממליצים לבעלי ברכות נוי להכניס לבריכה דגי גמבוזיה טורפי יתושים וכך לצמצם את התרבות היתושים.



### סיכום הפרק

1. אורגניזמים החיים ביחד בבית גידול חולקים את המשאבים שבו ומקיימים ביניהם יחסי גומלין מסוגים שונים: תחרות, טריפה וחיי שיתוף.
2. הפרטים באוכלוסייה צורכים כולם משאבים זהים: מזון, מקומות מחסה, בני זוג ועוד. כאשר המשאבים הם גורם מגביל, מתחרים הפרטים באוכלוסייה אלה באלה.
3. תחרות יכולה להתבטא בשתי דרכים:
  - (א) תחרות ניצול - כאשר פרטים באוכלוסייה או אחד המינים מנצלים חלק גדול יותר מהמשאב המוגבל ולאחרים לא נותר די ממנו;
  - (ב) תחרות הפרעה - כאשר פרטים מסוימים באוכלוסייה או אחד המינים מפריעים לאחרים להגיע למשאב הנחוץ להם.
4. שמירה על טריטוריה וארגון היררכי של מעמדות הם תופעות של תחרות הפרעה שתוצאתן היא צמצום (זמני בלבד!) של התחרות בתוך האוכלוסייה.
5. התחרות בין מינים שונים באוכלוסייה עלולה לגרום להכחדתו (או לדחיקתו) של מין אחד.
6. טריפה היא תופעה נפוצה במארגי מזון בטבע. לאורגניזמים יש התאמות שונות ומגוונות המסייעות להם להימלט מטריפה או לצמצם את סכנתה.
7. גודלן של אוכלוסיות טורפים ונטרפים משתנה במחזוריות: גידול באוכלוסיית הטורפים מקטין את אוכלוסיית הנטרפים, בעקבות המחסור במזון לטורפים קטנה אוכלוסייתם.
8. טפילות, הדדיות, וקומנסליזם הן צורות של חיי שיתוף בין מינים. הסוגים השונים של חיי שיתוף נבדלים זה מזה במידת הנזק או התועלת לשותפים.





9. האדם מתערב ביחסי הגומלין בטבע בדרכים שונות: הדברה כימית, הדברה ביולוגית, דיג וציד.
10. גודל האוכלוסיות בטבע מושפע מגורמים רבים הפועלים בו־זמנית: מאפייני האוכלוסייה, גורמי הסביבה הביולוגיים והא־ביולוגיים. גורמי הסביבה (הביולוגיים והא־ביולוגיים) יכולים להיות גורמים המגבילים את גודל האוכלוסייה והקובעים את כושר הנשיאה של בית הגידול עבור מין מסוים.

### ■ מושגים חשובים

אללופתיה	טפילות חברתית־התנהגותית
אפיפיט	טריפה (טורף נטרף),
ברירה טבעית	טריפה סלקטיבית
גודל אוכלוסייה	יחסי גומלין
גומחה (נישה) אקולוגית	כושר נשיאה
גורם מגביל	מיקוריזה
דחיקה תחרותית	משאב
הדברה ביולוגית	סימביוזה
הדדיות (מוטואליזם)	פונדקאי
התנהגות טריטוריאלי	קומנסליזם
חיקוי	תחרות (ניצול, הפרעה)
חיי (יחסי) שיתוף (סימביוזה)	תחרות בין פרטים באוכלוסייה
טפילות	תחרות בין אוכלוסיות

# ה

## שינויים ויציבות בבית הגידול



## מבט על הפרק

בפרק זה מתוארים תופעות ותהליכים המתרחשים בבית הגידול ובמערכת האקולוגית **לאורך זמן**. בניגוד לתופעות ולתהליכים שניתן לצפות בהם בשדה כמו ביקור של דבורה בפרח, פריחה, נשירת עלים, טריפה, קשה לצופה מן הצד, ובכלל זה לתלמיד, לצפות בשינויים המתרחשים לאיטם ונמשכים זמן רב. לכן, יש קושי בהבנת הרעיונות המוצגים בפרק זה.

הרעיונות המרכזיים של הפרק הם אלה:

- בתי גידול ומערכות אקולוגיות הם דינמיים ומשתנים כל הזמן.
- האורגניזמים משפיעים על סביבתם, משנים אותה ומושפעים ממנה. רעיון זה הוצג כבר בפרק א (איור א-2, עמוד 16).
- **הסוקצסיה** היא תהליך המתרחש בבית גידול חדש או בעקבות הפרעה של בית גידול בהשפעת אירועים טבעיים כמו שיטפון, התפרצות הרי געש ושרפה או בהשפעת פעילות האדם. שלבי הסוקצסיה והקצב שבו היא מתרחשת אינם קבועים וגם קשה לצפות מראש אילו חברות יתפתחו עם הזמן בבית הגידול.
- חקירת תהליכים המתרחשים זמן רב מהווה אתגר לאקולוגים.

# ה שינויים ויציבות בבית הגידול

## ה.1. שינויים בבית הגידול

בבתי גידול מתרחשים כל העת שינויים רבים: אורגניזמים גדלים ומזדקנים, אחדים מתים או נטרפים ואחרים נולדים ותופסים את מקומם; זרעים נובטים ומתפתחים לעשבים, שיחים או עצים. פרטים אחדים מהגרים אל בית הגידול ואחרים מהגרים ממנו, אנרגיה וחומרי מזון מועברים מפרט אחד לאחר בחברה, ובקרקע מפורקות שאריות של חומרים אורגניים לחומרים אנאורגניים. במבט שטחי קשה להבחין בשינויים יום-יומיים כאלה. קל יותר להבחין בשינויים אחרים, כמו אלה המתרחשים מדי שנה בעת חילופי העונות.

שאלה ה-1 תשובה בעמוד מ-54



הביאו דוגמאות לשני שינויים עונתיים המתרחשים בחברה בבית גידול שבקרבת ביתכם.



נוף בקיץ ובחורף (תל גזר)



יער מתחדש לאחר שרפה. צולם שנה לאחר השריפה (גליל עליון)

מדי פעם מתרחשים אסונות טבע כמו התפרצות של הר געש, שרפה או שיטפון המשנים לחלוטין את מראה בית הגידול. גם מעורבותו ההולכת וגוברת של האדם בטבע משפיעה על בתי גידול ועל מערכות אקולוגיות ומשנה אותם. לאחר הפרעה שכזו עובר בית הגידול תהליך ארוך הנמשך עשרות ואף מאות שנים, שבו משתנה בית הגידול על כל מאפייניו: הגורמים הביולוגיים והגורמים הא־ביולוגיים. הרכב חברת האורגניזמים שהתקיימה בו משתנה בהדרגה, ומתפתחת בו חברה חדשה. בשלב מסוים מין כלשהו יהיה נפוץ בבית הגידול, ובשלב אחר נמצא באותו בית גידול גם מינים אחרים שלא נמצאו בו קודם כלל. כלומר הרכב החברה משתנה עם הזמן.

## סוקצסיה

במקורות רבים מפורטים שלבי הסוקצסיה. בשנים האחרונות מתייחסים לשלבים אלה בזהירות רבה שכן לא בכל מקרה ניתן להבחין בשלבים מוגדרים ובנקודת סיום ("חברת שיא") אחידה שניתן לצפותה מראש. סביר שמהלך הסוקצסיה מושפע מגורמים אקראיים.

תהליך השינוי של החברה בבית הגידול נקרא **סוקצסיה**. לעתים ניתן לראות שתהליך התחלפות החברות בשטח שהופרע (נחשף, נשרף, נסחף) במהלך הסוקצסיה מתנהל בסדר מסוים: הראשונים להימצא בשטח שהופרע הם צמחים חד־שנתיים בעלי כושר הפצה גבוה (מספר רב של זרעים קטנים מופצים על ידי רוח או בעלי חיים) הזקוקים לאור לנביטתם. לאחר זמן יתבססו בשטח גם צמחים רב־שנתיים, שיחים ועצים. תנאי הצל שיוצרים השיחים על פני הקרקע מונעים נביטה של מקצת החד־שנתיים ובהדרגה מתרבים בבית הגידול העצים והמטפסים הגדלים לגובה. בד בבד עם השינויים האלה מתרחשים שינויים גם במגוון בעלי החיים בבית הגידול על פי מגוון המזונות ומקומות הקינון והמחסה הזמינים בכל עת.

שינויים דומים לאלה שמתרחשים לאחר אסון טבע מרחשים גם בבית גידול "חדש" שבו לא התקיימו קודם לכן אוכלוסיות של אורגניזמים. דוגמאות לבתי גידול חדשים הן: חולות נודדים, או סלעים שנחשפו לאחר נסיגת קרחונים. אפילו עץ שנפל ביער או פרי שנשר לקרקע מהווים בתי גידול חדשים לאוכלוסיות של אורגניזמים הניזונים מהם או מתקיימים בתוכם. עם הזמן משתנים התנאים הא־ביוטיים ואוכלוסיות מחליפות זו את זו. בתי גידול חדשים יכולים להיות גם מעשי ידי אדם: שביל מרוצף, מצבה בבית הקברות, סלע שנחשף לאחר חציבת כביש או אגם מלאכותי.

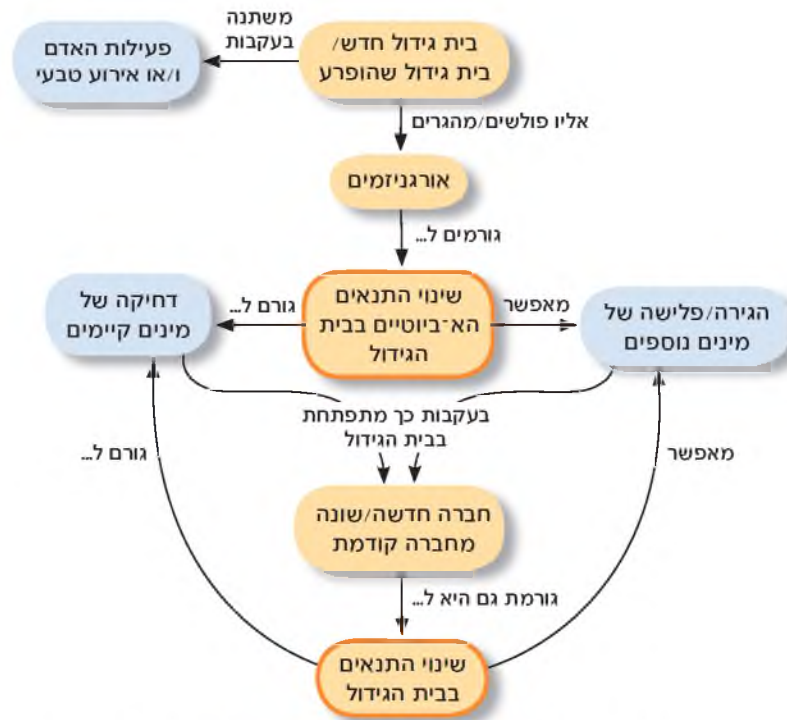


בתי גידול חדשים (מימין לשמאל): צמחים בין אבני השביל, חזזיות על סלע, קקטוס בהריצי שפך לבה שנקרשה (גלפאגוס)

לבית גידול חדש מגיעים מינים היכולים לנצל את המשאבים והתנאים שבית הגידול החדש מזמן להם. למשל: על הסלע היבש מתפתחים חזזיות וטחבים היכולים לקלוט מים המתעבים מן האוויר הלח, ומינרלים מהאבק המצטבר בסדקים. על החול נובטים ונאחזים צמחים המותאמים לתנאי הקרקע, המליחות והיובש שבאזורי החולות הנודדים. התבססותם של מיני אורגניזמים בבית הגידול משנה את התנאים הא־ביוטיים בבית הגידול. לדוגמה: הסלע היבש נסדק ומתפורר ונוצרת קרקע. הרכב הקרקע ומשק המים בקרקע משתנים עם התווספות חומרים אורגניים שמקורם באורגניזמים שמתו ובמיקרואורגניזמים (חיידקים ופטרייות) המפרקים אותם ומעשירים את הקרקע במינרלים (תוצרי תהליכי הפירוק וקיבוע חנקן). הצמחים משנים את תנאי האור, הצל והלחות בסביבתם (איור ה-1). בד בבד עם השתנות התנאים הא־ביוטיים משתנה הרכב החברה.

**עוד על**  
**השפעת האדם על המגוון הביולוגי ראו בפרק 1.**

איור ה-1: בחברה החדשה המתפתחת במהלך סוקצסיה מתקיימים גם יחסי גומלין: תחרות וחיי שיתוף למיניהם וגם אלה משפיעים על הרכב החברה ועל התנאים בבית הגידול.



איור ה-1: מפת מושגים: סוקצסיה – אורגניזמים משנים את סביבתם

בדרך זו, במשך זמן ארוך של עשרות (ואף מאות או אלפי) שנים, משתנה בית הגידול ומשתנה הרכב החברה. מהלך הסוקצסיה שתואר לעיל אינו מתרחש תמיד לפי הדגם שתואר. יתרה מכך, החברה החדשה המתפתחת במהלך הסוקצסיה יכולה להיות דומה לזו שהייתה במקום קודם להפרעה, אך יכולה להיות שונה ממנה. מכאן נובע שבמקרים רבים אין לדעת מראש איזו חברה תתפתח בבית גידול חדש או בבית גידול שהופרע.

**מה קובע איזו חברה תתפתח בבית גידול חדש או בבית גידול שנפגע מאסון טבע?**

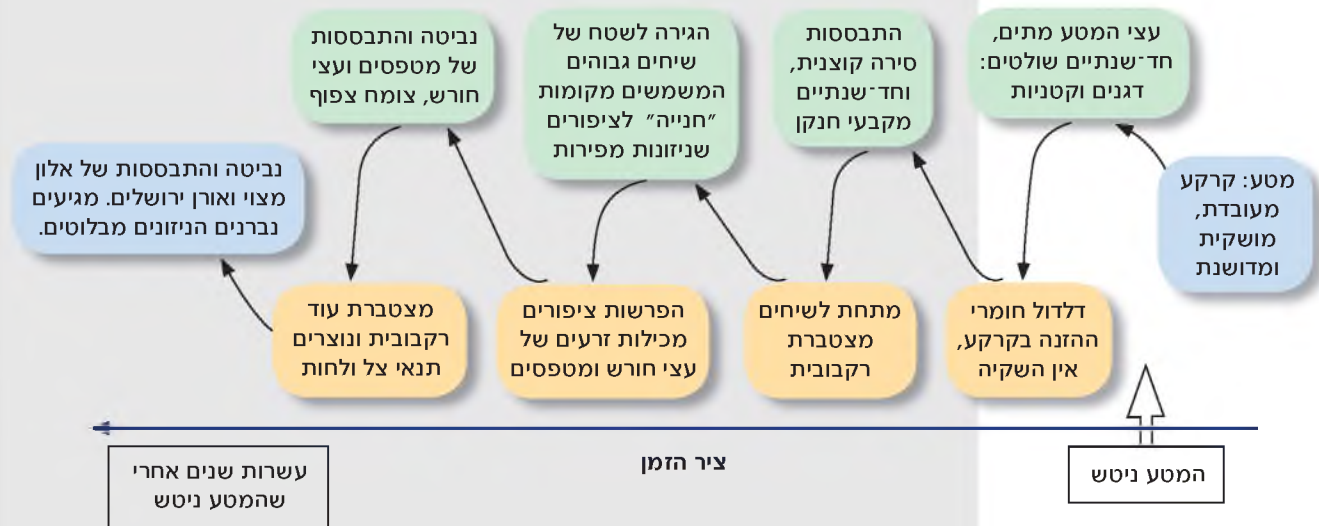
- אפשר להצביע על כמה גורמים המשפיעים על התפתחות החברה:
  - עוצמת אסון הטבע או טיבה של מעורבות האדם
  - התנאים הא־ביוטיים הנוצרים בבית הגידול בעקבות ההפרעה
  - מאגר המינים בבתי גידול קרובים שמהם יכולים להגיע/להגר המינים לבית הגידול שנפגע
  - הסדר שבו מגיעים המינים השונים ומתבססים בבית הגידול (מי הם המגיעים ראשונים ומי אחריהם?)
  - יחסי הגומלין (החיוביים והשליליים) המתפתחים בין המינים המתבססים ומתקיימים בכל זמן נתון
  - משך הזמן שחלף מאז שהחברה החלה להתפתח או להשתקם.

ריבוי הגורמים המשפיעים על התפתחות החברה מבהיר עד כמה התמונה מסובכת. תמונת המצב שתתגלה לעיני חוקר שיגיע לשטח בשנה מסוימת תהיה שונה מהתמונה שיראה אותו החוקר או חוקר אחר שיגיע לשטח הזה כעבור שנים אחדות. יתרה מכך, אופיים של התהליכים המשפיעים על שינוי החברה בבית גידול אינו ניתן לחיזוי מדויק, ולכן גם קשה לצפות מראש מה ימצא החוקר לאחר שנים מספר.

**חוקרים אקולוגיה: איך חוקרים תהליכים של שינוי והתפתחות חברות במשך זמן ארוך?**

ברוב המערכות האקולוגיות נמשכים תהליכי הסוקצסיה במשך שנים רבות. גם אם יקדיש החוקר את כל ימי חייו לחקירת תהליך השינוי בבית גידול מסוים, ייתכן שלא יזכה לקבל תמונה מלאה של התהליך. אולם אפשר לעקוב אחרי הסוקצסיה כאשר בודקים את הרכב החברה בבתי גידול דומים שנפגעו במועדים שונים. לדוגמה: אפשר לחקור את תהליכי ההתחדשות של יער שנשרף על ידי השוואת מצבם של יערות שונים, שנשרפו במועדים שונים בעבר.

בהרי יהודה תועדו שינויים בהרכב החברה בשטחים של מטעים חקלאיים שננטשו במועדים שונים.



איור ה-2: מהלך האירועים בעקבות נטישת מטע. שינויים עוקבים בהרכב החברה (שורה עליונה) ובמאפייני בית הגידול (שורה תחתונה). (ע"פ דנין, א. 1980) חילופי חברות צמחים בשדות ובמטעים נטושים בהרי יהודה. טבע וארץ כ"ב 69-72).



מדרון בהרי יהודה בו הקידה השעירה (פורחת בצהוב) דחקה את הסירה הקוצנית ואת הצומח העשבוני שלבי הסוקצסיה הקודמים. עצי אורן ירושלים בודדים התבססו ללא עזרת יד אדם.

## ה2. שיווי משקל דינמי של מערכת אקולוגית

מערכת אקולוגית שאינה משתנה במידה ניכרת לעין נמצאת בשיווי משקל דינמי.

### מה מאפיין מערכת אקולוגית בשיווי משקל דינמי?

במערכת אקולוגית בשיווי משקל דינמי אפשר להבחין ביציבות בטווח מסוים של המאפיינים השונים שלה:

1. הרכב החברה: מספר המינים (האוכלוסיות) והרכב המינים – קבוע פחות או יותר.
2. גודל האוכלוסיות: מספר הפרטים הנוספים בכל אוכלוסייה (ילודה או הגירה) בכל תקופה שווה בקירוב למספר המתים, הנטרפים או המהגרים.
3. הביומסה הכללית: כמות החומרים הנכנסת לבית גידול שווה בקירוב לכמות החומרים היוצאת ממנו.
4. מאזן האנרגיה: כמות האנרגיה הנקלטת במערכת שווה בקירוב לכמות האנרגיה הנפלטת ממנה.

### שימו לב:

במכוון השתמשנו במילים בקירוב ופחות או יותר כדי להדגיש שגם בשיווי משקל דינמי אין שוויון מוחלט בין כמויות החומרים הנכנסים לכמויות החומרים היוצאים, אין שוויון מלא בין מספר הנולדים לבין מספר המתים וכו'. בשיווי משקל דינמי כל המדדים הללו נשמרים יציבים ברמה מסוימת עם שינויים קטנים בלבד.

### שאלה ה-2 תשובה בעמוד מ-54

הביאו דוגמאות לדרכים שבהן חומרים נכנסים לבית גידול ולדרכים שבהן חומרים יוצאים ממנו.

חשוב לזכור כי בשיווי משקל דינמי אין המערכת האקולוגית "שוקטת של שמריה". אורגניזמים נולדים ומתים, הצמחים מבצעים פוטוסינתזה, הטורפים ממשיכים לטרוף, החיידקים ממשיכים לפרק חומרים ולהשתתף במחזורם. כל התהליכים המאפיינים מערכת אקולוגית ממשיכים להתקיים ורק למתבונן בחברה "מבחוץ" נדמה שלכאורה הכול יציב וקבוע.

### למה הדבר דומה?

אדם בוגר שאינו גדל, אינו משמין ואינו מרזה נמצא גם כן בשיווי משקל דינמי: הוא קולט חומרים – מזון, מים וחמצן – מסביבתו ומשחרר אליה חום וחומרים שונים ( $CO_2$ , שתן צואה). אולם המולקולות בגופו משתנות ללא הרף: יש שמתפרקות ויש שנבנות. המתבונן מבחוץ לא יבחין בשינוי מיום אחד למשנהו, אך האדם של היום שונה מזה של אתמול. התוספת דינמי (לשיווי משקל) באה להדגיש את העובדה שבצד היציבות, הנראית כאשר מתבוננים במערכת מ"בחוץ", מתרחשים כל הזמן שינויים בתוך המערכת.

מערכת אקולוגית בשיווי משקל דינמי מאופיינת ביציבות בשיעורם של תהליכים במערכת, כמו מעברי אנרגיה ומחזורי חומרים, בהרכב המינים בחברה וביחסי הגומלין ביניהם (איור ה-3).

במצבים של אי-שיווי משקל אין בהכרח קשר בין מאפיינים 1 ו-2 (האורגניזמים במערכת) לבין מאפיינים 3 ו-4 (ביומסה ומאזן אנרגיה); ייתכן שגודל האוכלוסיות או הרכב החברה ישתנה מאוד אך הביומסה הכוללת תשתנה מעט או תהיה יציבה.

תפיסה שגויה 20 ראו טבלה בעמוד מ-11.



- תהליכים בבית הגידול, ראו בפרק ג.
- יחסי גומלין בין אורגניזמים ראו בפרק ד.



ביולוגיה של האדם: גוף האדם הוא גם כן "מערכת" מורכבת הקולטת חומרים ואנרגיה ופולטת לסביבה חומרים ואנרגיה.





איור ה-3: סכמה של מערכת אקולוגית בשיווי משקל דינמי

איור ה-3: מבוסס על גישה מערכתית ומציג את הקלט ואת הפלט של מערכת אקולוגית. שימו לב שחומרים אורגניים מופיעים בכל ארבע המשבצות עקב היות החומרים האורגניים גם מקור אנרגיה וגם מקור לחומרים לבנייה. ראו גם תשובה לשאלה ה-2. חומרים אורגניים נפליים מהמערכת באמצעות הפצה למרחק של פירות וזרעים, סחיפת שאריות אורגניות עם מי הנגר ועוד.

**?** קושי להבין מצבים של אי-שיווי משקל ראו טבלה בעמוד מ-11 סעיף 21.

על פי המוצג באיור ה-3 במערכת אקולוגית בשיווי משקל דינמי יש איזון בין כמויות האנרגיה והחומרים הנקלטות במערכת לבין הכמויות של אנרגיה וחומרים הנפלטות מהמערכת. אולם חשוב לשים לב שאין זהות בסוגי האנרגיה ובסוגי החומרים: במערכת נקלטות אנרגיית אור ואנרגיה כימית (חומרים אורגניים שנסחפו/הגיעו ממערכת אחרת) ולסביבה משתחררים חום, שאריות של חומרים אורגניים ותוצרי פירוק אנאורגניים. כך גם לגבי החומרים: כמות החומרים (המסה שלהם) הנקלטת שווה בקירוב לזו הנפלטת, אך החומרים עצמם שונים.

**שאלה ה-3 תשובה בעמוד מ-54**

איך תשפיע שרפה על המוצג באיור ה-3: אילו חצים יגדלו ואלו יקטנו? הסבירו.

**מעניין לדעת: מצבים של אי-שיווי משקל בטבע**

ילד או עץ הגדלים הם דוגמאות למערכות ביולוגיות שאינן בשיווי משקל דינמי: הביומסה שלהן גדלה, וגם כמויות האנרגיה והחומרים הנקלטות גדולות מאלה הנפלטות. גם מערכת אקולוגית שעברה הפרעה מסוימת ומתאוששת ממנה (מתרחשת בה סוקצסיה) היא מערכת שאינה בשיווי משקל דינמי (החצים כדוגמת אלה שבאיור ה-3 יהיו שונים בגודלם). מינים נכחדים ואחרים תופסים את מקומם, שיעורי התהליכים (פוטוסינתזה, נשימה ופירוק) משתנים עם הזמן, יותר אנרגיה נקלטת מאשר נפלטת.

**סיכום הפרק**

1. בתי גידול ומערכות אקולוגיות משתנים במהלך הזמן, בהשפעת אירועים טבעיים ואירועים מעשי ידי אדם.
2. בבית גידול שהשתנה או נפגע מתרחש בהדרגה תהליך של התפתחות חברה שבמהלכו הרכב החברה (המינים המרכיבים אותה) משתנה. השינויים האלה נובעים מהשפעת המינים עצמם על תנאי בית הגידול ומיחסי הגומלין בין המינים.
3. הרכב החברה המתפתחת בבית גידול שנפגע או בבית גידול "חדש" אינו ניתן לחיזוי מדויק מראש והוא מושפע מגורמים ביוטיים וא־ביוטיים וממשך הזמן שחלף מאז שבית הגידול נוצר או נפגע.
4. חברה בשיווי משקל דינמי מאופיינת ביציבות בטווח מסוים של הרכב המינים, גודל האוכלוסיות, הביומסה הכוללת ומאזן האנרגיה.

**מושגים חשובים**

שיווי משקל דינמי

סוקצסיה



# המגוון הביולוגי וחיבתו



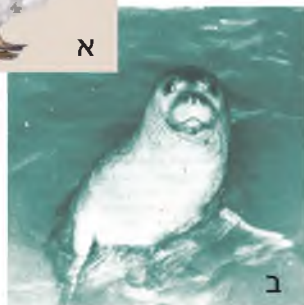
## מבט על הפרק

הנושא "מגוון ביולוגי וחיבורות" הוא חדש בתכנית הלימודים באקולוגיה. המגוון הביולוגי – עושרו, חשיבותו והדרכים לשמירתו היו הם נושא העומד במרכזו של דיון ציבורי ער וגם בחזית המחקר המדעי. ההתעניינות הגוברת במגוון הביולוגי נובעת מההכרה בחשיבותו להמשך קיומם של כל היצורים החולקים את המשאבים המוגבלים של כדור הארץ – החל בבני האדם וכלה בזעירים שביצורים החיים במקומות הנידחים ביותר. בני האדם משפיעים על המערכות האקולוגיות ועל היצורים החיים בהן ופגיעה במערכות האקולוגיות משפיעה על חברת בני האדם ועל סיכוייה לשרוד לאורך זמן.

תחום המחקר – מגוון ביולוגי ושמירתו (conservation biology) – משלב שני תחומים שלאורך השנים התקיימו בנפרד זה מזה (ראו עמוד מ-20): האחד – **אקולוגיה** והשני – **מדעי הסביבה**. בעוד שהאקולוגים חקרו את הטבע ואת התהליכים בו במנותק, עד כמה שאפשר, מבני האדם, במדעי הסביבה התמקדו במחקר אודות ההשפעות של האדם על סביבתו והשפעת השינויים בסביבה על האדם, בריאותו ואיכות חייו. התחום – מגוון ביולוגי ושמירתו – משלב את הבנת הטבע על כל מרכיביו עם השפעות הגומלין בין בני האדם לבין הטבע.

פרק ו מתאים כבסיס להוראת הנושא המחקרי: **טבע בעולם משתנה** – המגוון הביולוגי חשיבותו והגורמים להשתנותו.

## ו המגוון הביולוגי וחיבותו



בשנים האחרונות גוברת הדאגה בקרב מדענים ובקרב שוחרי טבע ואיכות הסביבה לנוכח הפגיעה במגוון הביולוגי. הפגיעה העיקרית היא במינים של בעלי חיים וצמחים הגורמת להכחדתם וכן פגיעה בבתי גידול ייחודיים, כמו שלוליות חורף. כמו כן נפגעות גם מערכות אקולוגיות גדולות ומורכבות, כמו שוניות האלמוגים והיערות הטרופיים. בכל דיון על הכחדת מינים מושטת אצבע מאשימה כלפי האדם כגורם העיקרי להכחדה הגוברת והולכת של מיני אורגניזמים בטבע. יש מינים שהיו נפוצים בעבר והפכו להיות נדירים יותר ויותר, ויש מינים שנכחדו לבלי שוב ובהם גם מינים שטרם נודע על קיומם.

א. דודו – עוף חסר כושר תעופה שחי בעבר באי מאוריציוס ונכחד לאחר שבני האדם התיישבו באיים וצדו אותו.  
ב. כלב ים נזירי – יונק ימי שחי בים התיכון וסכנת הכחדה מרחפת עליו.

הדיווחים על מינים שנכחדו או שאוכלוסיותיהם קטנו מאוד מגיעים מתיירים, מדייגים ומחוקרים. ממכלול הנתונים שנאספו וממשיכים להצטבר, עולה ששיעורי ההכחדה כיום עולים על שיעורי היווצרותם של מינים חדשים. החוקרים אינם חלוקים על כך שהסכנה הגדולה ביותר של הכחדה מרחפת על המינים הגדולים, על מינים אנדמיים הנמצאים רק במקום מסוים ולא בשום מקום אחר, ועל המינים החיים בשטחים קטנים, כמו איים ואגמים של מים מתוקים.

תפיסה שגויה 3 ראו  
טבלה בעמוד מ-10.



אירוס הגלבוע – מין אנדמי בארץ

### מעניין לדעת

עוד מימי התנ"ך היה ידוע שבארץ חי דוב – דוב חום סורי. כיום אין דובים באזור כולו, וידוע שהאחרון שבהם נצפה בתחילת המאה ה-20 בדרום סוריה. גם צמחים שבעבר היו נפוצים בארץ, כמו נימפאה כחולה הם נדירים מאוד כיום. דוגמאות למינים אנדמיים בישראל: שרף עין-גדי (נחש) מריון החולות (יונק), והצמחים אירוס הגלבוע ולוף ארץ-ישראלי.

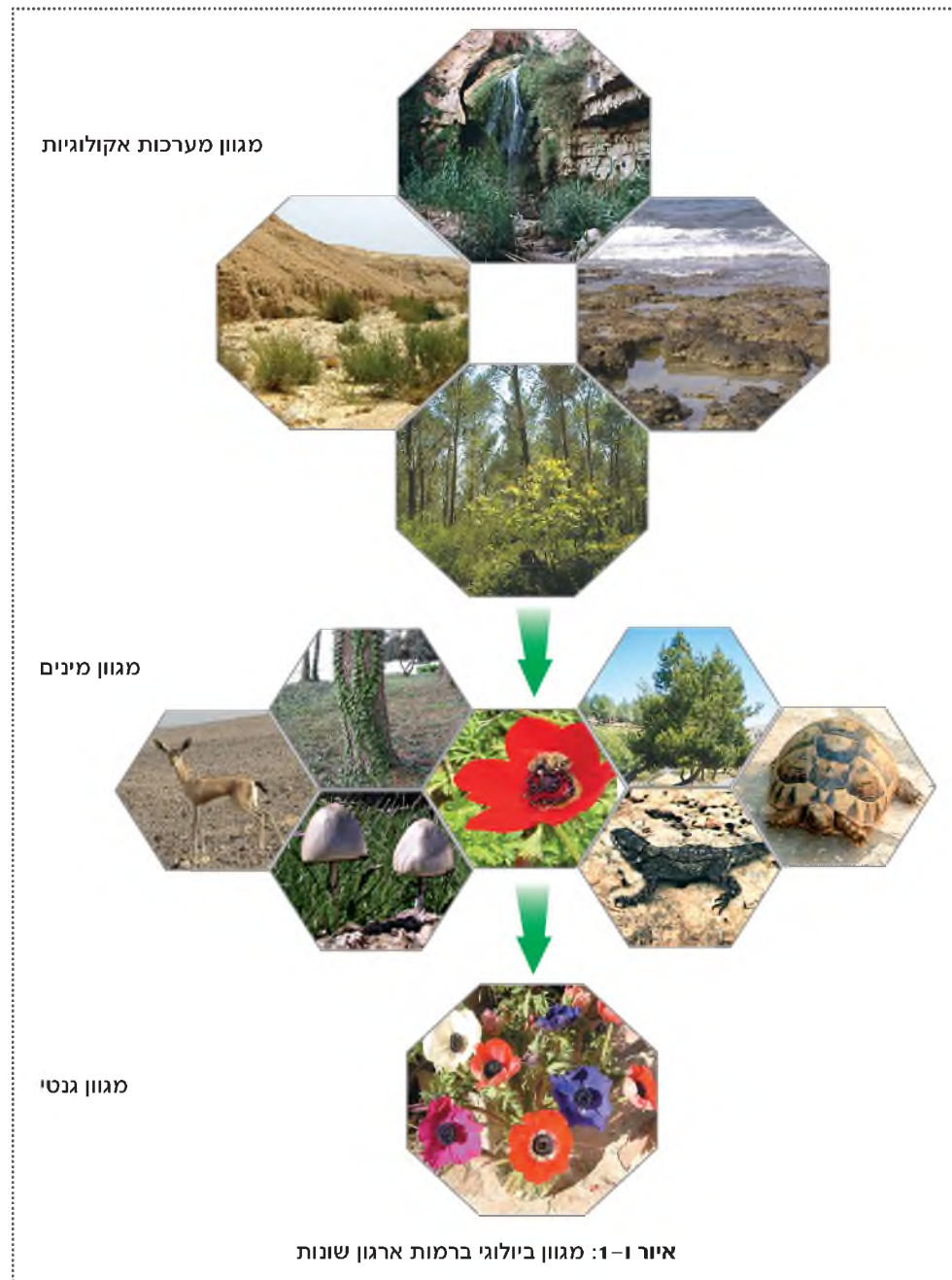
ההשפעה מרחיקת הלכת של האדם על הסביבה הטבעית נובעת מהגידול המתמשך של אוכלוסיית בני האדם, מהטכנולוגיה שפיתח האדם ומהעלייה ברמת החיים שכדי לספק אותה מְכילים את המשאבים המוגבלים של כדור הארץ. חישובו ומצאו שסך כל השטח הנחוץ לקיומם של כ-6.6 מיליארד בני האדם החיים כיום (בשנת 2007) על פני כדור הארץ, גדול מהשטח שאפשר לנצלו לחקלאות, למגורים ולתשתיות תחבורה ותעשייה. כך גם לגבי המים הראויים לחקלאות ולשתייה. כלומר כושר הנשיאה של כדור הארץ אינו מספיק לקיומם של כל בני האדם עליו.

יחד עם זאת חשוב לזכור, שהכחדת מינים היא קודם כל תופעה טבעית. על פי העדויות ממאובנים, מינים רבים נכחדו בהדרגה במהלך האבולוציה, ואחת ההערכות היא שיותר מ-99% מכלל המינים שחיו אי-פעם על פני כדור הארץ אינם קיימים היום. במהלך האבולוציה אירעו גם חמישה אירועים של הכחדה המונית שבהם נכחדו בתוך זמן קצר מינים רבים. אחת ההכחדות המפורסמות קרתה לפני כ-65 מיליון שנה וגרמה, בין השאר, להיעלמותם של הדינוזאורים מעל פני כדור הארץ.

## 1. מהו מגוון ביולוגי?

קיומם של יצורים רבים ושונים זה מזה הוא תופעה מוכרת וכמעט מובנת מאליה. כבר מגיל צעיר מבחין הילד בין כלב לבין ציפור ובין עץ לבין עשב. בטילים שאנו עורכים ברחבי הארץ אנו פוגשים בכל אזור צמחים ובעלי חיים האופייניים לו.

**מגוון ביולוגי** הוא מושג־על הכולל את כל מדדי השונות ברמות הארגון בטבע: **המגוון הגנטי** בקרב פרטים באוכלוסייה, **מגוון המינים** בחברה ומגוון **המערכות האקולוגיות** באזור או בכדור הארץ (איור 1-1). לרוב כאשר מדובר ב**מגוון ביולוגי** מתכוונים ל**מגוון המינים**. מספר המינים שנמצאים בבית גידול מסוים נקרא **עושר המינים** והוא מדד נפוץ של המגוון הביולוגי בבית גידול זה.



הרב־גונית ברמות הארגון בטבע מעוררת שאלות מעניינות: מדוע פרטים באוכלוסייה שונים זה מזה? איך התפתחו המינים השונים? מה גורם להבדלים בהרכב החברות בבתי גידול שונים ולהבדלים בין מערכות אקולוגיות?

ממה נובעים ההבדלים הנצפים בכל רמת ארגון?



המקורות המוצגים בטבלה 1-1 קשורים לנושאים אבולוציה, רבייה וגנטיקה כפי שמודגם גם באיור 2-1.

כמה נקודות חשובות לגבי המקורות של הרב־גונית ברמות הארגון מובאות בטבלה 1-1 ובאיור 2-1.

טבלה 1-1: מקורות הרב־גונית ברמות הארגון בטבע

רמת ארגון	מקורות הרב־גונית
<b>פרטים באוכלוסייה</b>	השונות בין פרטים באוכלוסייה נובעת מגורמים אלו: הבדלים גנטיים ביניהם (המגוון הגנטי), השפעת הסביבה והברירה הטבעית. ההבדלים הגנטיים מקורם במוטציות, בתהליכי השחלוף המתרחשים בעת יצירת גמטות ומהאקראיות במפגש בין גמטות בתהליך הרבייה הזוויגית.
<b>מינים</b>	מינים חדשים מתפתחים ממינים קודמים בתהליך אבולוציוני שנמשך דורות רבים.
<b>חברות</b>	הרכב המינים בחברה מושפע מגורמים שונים: תנאים א־ביוטיים, תנאים ביוטיים (למשל: הימצאות טורפים), אירועים מיוחדים כמו שריפה, ותהליכי הפצה והגירה. הבדלים בין חברות המתפתחות באזורים דומים מבחינת התנאים הא־ביוטיים נובעים, למשל, מהשלב בסוקצסיה שבו החברות נמצאות ומאירועים שהתרחשו במהלכה.
<b>מערכות אקולוגיות</b>	המערכות האקולוגיות על פני כדור הארץ מושפעות מאותם גורמים ותהליכים המשפיעים על החברה והן נבדלות זו מזו על פי התנאים הא־ביוטיים והביוטיים. השונות בין מערכות אקולוגיות יכולה לנבוע גם מתהליכים גיאולוגיים (כמו נדידת היבשות) והיסטוריים (כמו התיישבות של בני אדם).

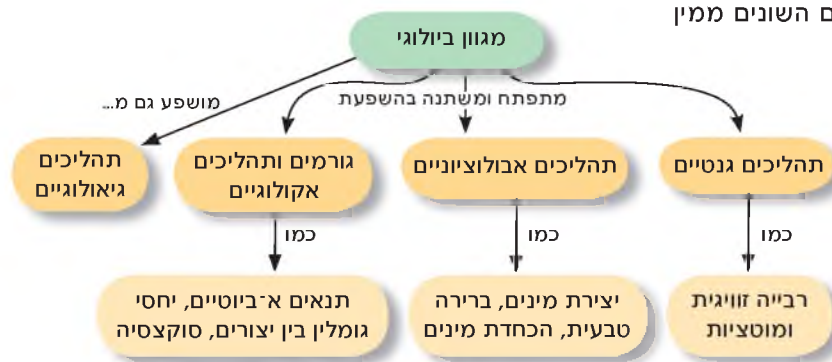
**צוד על סוקצסיה** ראו בפרק ה.

**צוד על השפעת הגורמים הא־ביוטיים על מערכות אקולוגיות** ראו בפרק ב, סעיף ב1.

התהליכים ההיסטוריים המוזכרים בטבלה כוללים: הגירת בני אדם ממקום למקום והתיישבות שם, התפתחות החקלאות והתעשייה.

מהמידע המובא בטבלה 1-1 אפשר ללמוד כי המגוון הביולוגי מתפתח עקב ההשפעות המשולבות של גורמים אבולוציוניים (תהליך הברירה הטבעית ויצירת המינים), של גורמים גנטיים (מוטציות ורבייה זוויגית) ושל גורמים אקולוגיים (תנאים א־ביוטיים, יחסי גומלין בין יצורים וסוקצסיה) (איור 2-1).

אחד המנגנונים המביאים במהלך האבולוציה ליצירת מינים חדשים ממין קיים הוא הפרדה באמצעות **מחסום ביו־גיאוגרפי** בין שתי אוכלוסיות של אותו מין. מחסום ביו־גיאוגרפי טבעי יכול להיות נהר, הר, ים ומפולת סלעים. מחסום פיזי שכזה אינו מאפשר מעבר של פרטים מאוכלוסייה אחת לאחרת, מפגש בין פרטים והתרבות ביניהן. אם התנאים הביוטיים והא־ביוטיים משני צדי המחסום שונים, האוכלוסיות תפתחנה בהדרגה, בהשפעת הברירה הטבעית, לשתי אוכלוסיות שונות בתכונותיהן, ובסופו של התהליך יתקבלו שני מינים השונים ממין המוצא.



איור 2-1: מפת מושגים: מקורות המגוון הביולוגי

**הרחבה: מעט על תאוריית האבולוציה**

החיים על פני כדור הארץ החלו להתפתח לפני כ־3.8 מיליארד (3,800,000,000) שנים. זהו פרק זמן ארוך ביותר וקשה לתפיסה. זמן חיי כדור הארץ הוא ארוך אף יותר – כ־4.6 מיליארד שנים, והוא נוצר במערכת השמש שגילה מוערך ב־5 מיליארד שנים. העובדות הידועות היום מוכיחות שמינים התפתחו והשתנו במרוצת העידנים. צ'רלס דרווין (C. Darwin 1809 – 1882) ואלפרד וואלאס (A.R. Wallace 1823 – 1913) הציגו בשנת 1858 את התיאוריה בדבר התפתחות המינים. דרווין פרסם את התיאוריה בספרו "מוצא המינים בדרך של ברירה טבעית" (The Origin of Species by Means of Natural Selection) שיצא לאור ב־1859. בספרו נתן דרווין פירוש חדש ומקיף לתצפיות הרבות שערך במהלך מסעו מסביב לעולם בספינה שנקראה "ביגל" (Beagle), מסע שנמשך 5 שנים תמימות. דרווין ביסס את התיאוריה שלו על תצפיותיו ועל עובדות אלה:



דרווין (כבן 45)

1. יש שונות בין פרטים באוכלוסייה,
  2. מקצת השונות עוברת בתורשה מהורים לצאצאיהם,
  3. כל דור מעמיד צאצאים רבים שלא כולם שורדים.
- המנגנון שהציע דרווין להסבר התפתחות מינים חדשים ממינים קודמים: הצאצאים ששורדים הם אלו שירשו מהוריהם תכונות המקנות להם עדיפות על פני צאצאים אחרים: הם מתחרים היטב על המשאבים המוגבלים של הסביבה, והם מצליחים להימלט מפני טורפים למיניהם. במהלך דורות רבים גדלה באוכלוסייה שכיחות הפרטים המותאמים לסביבה, וכך בהדרגה השתנה המין – זוהי הברירה הטבעית.



הספינה "ביגל"

תאוריית האבולוציה הורחבה במהלך המאה ה־20 בעקבות גילוי דרכי ההורשה של תכונות, של מוטציות אקראיות ושל המנגנונים המולקולריים של התורשה.



ברירה טבעית ראו בפרק א.

## 2. גודלו של המגוון הביולוגי

כמה מינים שונים יש על פני כדור הארץ?



אולי יפתיע אתכם לדעת שעל אף שנים רבות של תצפיות ומסעות לפינות נידחות ברחבי העולם ומחקרים רבים, אין עדיין תשובה לשאלה זו. כיום מכירים חוקרי הטבע בשמותיהם כ־1,600,000 מינים שונים של אורגניזמים. אף שזהו מספר עצום, רוב המינים הקיימים אינם מוכרים כלל למדענים, ויש המעריכים את מספר המינים הכולל בין 10 מיליון ל־100 מיליון מינים! הערכות אחרות, זהירות יותר, הן שמספר המינים הכולל הוא 30–50 מיליון. למספרים העצומים והשונים הללו יש שני היבטים חשובים:

1. המגוון הוא עצום
2. רב מאוד הלא־ידוע

כיום ברור לחוקרים שהמידע שבידיהם רחוק מלבטא את המגוון האמיתי של המינים שרובו, כאמור, עדיין אינו מוכר כלל. מינים חדשים שלא היו מוכרים, מתגלים מדי שנה במקומות שעד כה החוקרים לא הגיעו אליהם. גם מערכות אקולוגיות בלתי מוכרות מתגלות מדי פעם, בעיקר

מערכת אקולוגית לא מוכרת התגלתה בארץ בשנת 2005 במערת איילון. ראו: על"ב, 175, עמודים 45-53.

מגוון ביולוגי לא מוכר כולל יונקים ודו-חיים התגלה באיפואה גינאה החדשה (חלק מאינדונזיה) בשנת 2005.

בצמרות העצים שביער הטרופי ובמקומות שבהם סברו שאין חיים יכולים להתקיים כלל, כמו במעמקי האוקיינוסים, בקרחוני הקוטב ובמעיינות חמים.

בטבלה 1-2 מובא אומדן של מספר המינים הידועים בשמותיהם. המידע הקיים כיום לגבי המגוון של חרקים, יונקים, ציפורים וצמחים עילאיים הוא כמעט מלא. לגבי קבוצות חשובות מאוד (אם כי פחות מושכות את העין...) כמו: פטריות, נמטודות (תולעים החיות בקרקע וכטפילות בשורשי צמחים ובעלי חיים), חד-תאיים (אאוקריוטים) וחיידקים (פרוקריוטים) עדיין רב מאוד הלא ידוע, לדוגמה: אף על פי שזוהו 70,000 מיני פטריות משערים שמספרם הכולל הוא יותר ממיליון מינים (1,000,000). שימו לב למספר העצום של מיני חרקים יחסית לבעלי חיים אחרים.

טבלה 1-2: אומדן של מספר המינים המוכרים בשמותיהם

הקבוצה	מספר המינים	היחסים המספריים בין המינים הידועים בשמותיהם בקבוצות השונות
1. חיידקים	5,000	
2. אצות	40,000	
3. חד-תאיים	40,000	
4. בעלי חיים חסרי חוליות (לא חרקים)	303,000	
5. בעלי חיים חסרי חוליות: חרקים	840,000	
6. בעלי חוליות	46,500	
7. פטריות	70,000	
8. צמחים עילאיים	256,000	
<b>סך הכול</b>	<b>1,600,500</b>	המספרים באיור תואמים למספרים שבטבלה

המספרים בטבלה 1-2 הם אומדנים ובמקורות אחרים ניתן למצוא נתונים שונים במקצת. עם זאת, התמונה הכוללת דומה.

מידע נוסף על מספר מינים ידוע ומשוער ראו בעמוד 35-36.

**עוד על**  
השתנות הצומח מקו המשווה ועד לקוטב ראו בפרק ב.

### 3.1 מגוון ביולוגי והשתנות

באזורים גיאוגרפיים שונים על פני כדור הארץ אפשר לראות שהמגוון הביולוגי שונה. אחת התופעות הבולטות, שגם נחקרה רבות, היא השתנות המגוון הביולוגי מקו המשווה ועד לקטבים; בקו המשווה נפוצים יערות גשם טרופיים שבהם מתקיימים מינים רבים של חיידקים, פטריות, צמחים ובעלי חיים. ככל שמתרחקים מקו המשווה ומתקרבים לקטבים התמונה משתנה ומוצאים פחות ופחות מינים. הסיבות העיקריות לעושר המינים הגדול של אזורי קו המשווה הן אלו:

**הגורמים הא־ביוטיים:** שפע של אנרגיית קרינה, טמפרטורות נוחות, מים בשפע.

**הגורמים הביוטיים:** אזורי קו המשווה מאופיינים ביציבות רבת שנים. חברות שונות הצליחו להתפתח בהם במהלך העידנים ולחיות אלה בצד אלה.



יער גשם (אקוודור)





השפעה הדדית של גורמים  
ביוטיים וא־ביוטיים ראו  
בפרק א.



מגוון של אורגניזמים במדבר (נגב)

הגורמים הא־ביוטיים והגורמים הביוטיים משפיעים אלה על אלה ויחד הם יוצרים את סביבת החיים העשירה של היער הטרופי.

גם בימים ובאוקיינוסים ישנם אזורים שבהם יש עושר מינים גדול מאוד. אזורי החוף שבהם מתפתחות שוניות אלמוגים דומים מבחינת עושר המינים ליער הטרופי.



מגוון אורגניזמים בשונית אלמוגים (מפרץ אילת)

תצפיות הראו שהמגוון הביולוגי קטן באזורים המאופיינים בתנאי סביבה קיצוניים ולא נוחים, כמו בקטבים, בראשי ההרים ובמדבריות וכן בבתי גידול ששטחם קטן או שהם מבודדים, כמו איים ואגמים. מאפיין נוסף של בתי גידול קטנים או מבודדים הוא שרבים בהם המינים האנדמיים.

## 4. השפעת האדם על המגוון הביולוגי

השפעת האדם על הסביבה הטבעית החלה בד בבד עם התפתחותו. הגידול באוכלוסיית בני האדם במהלך אלפי השנים האחרונות והטכנולוגיות שפיתח האדם הם הסיבות העיקריות להכחדה המתרחשת בימינו ומכונה "ההכחדה השישית" (חמש הכחדות המוניות קודמות תועדו במהלך האבולוציה).

בעידן המודרני מעורבות האדם בטבע גורמת לעתים לביטול השפעתו של **מחסום ביוגיאוגרפי** טבעי. הדוגמה הבולטת היא העברת מינים ממקום למקום באמצעות אמצעי התעבורה למיניהם, למשל: מטוסים, ספינות ורכבות. דוגמאות אחרות הן חפירת מנהרות ותעלות (למשל: תעלת סואץ). מעורבות האדם בתנאים הפיזיים מאפשרת מפגש בין אורגניזמים שלא היה מתאפשר באופן טבעי וכך מתבטלת השפעתו של מנגנון חשוב ביצירת מינים חדשים.

### מעניין לדעת: "טביעת הרגל" שלנו



אחד המדדים להשפעת בני האדם על כדור הארץ הוא המדד המכונה "טביעת הרגל האקולוגית" (טבלה ו-3), כלומר: מהו השטח על פני כדור הארץ הנחוץ לקיומו של אדם אחד. שטח זה כולל את השטח לגידול מזונותיו, למגוריו, לדרכי התחבורה ולמפעלי התעשייה שלו. בחברות מפותחות, כמו ארה"ב וישראל, טביעת הרגל של כל יחיד גדולה מזו של אנשים החיים בחברות פחות מפותחות המנהלים אורח חיים צנוע ומנצלים פחות משאבים, כמו בהודו. מצב זה ישתנה קרוב לוודאי עם האצת ההתפתחות הכלכלית.

כל אחד יכול לחשב את טביעת הרגל שלו באתר:  
<http://www.myfootprint.org/>

טבלה ו-3: טביעת רגל אקולוגית: השטח הנחוץ לקיומו של אדם בארצות שונות

המדינה	טביעת רגל (דונם לנפש)	שטח זמין (דונם לנפש)
ישראל	35	3
קנדה	72	123
ארה"ב	96	55
הולנד	56	15
יפן	42	7
מצרים	14	5
סין	14	6
הודו	10	5
<b>ממוצע עולמי</b>	<b>22</b>	<b>19</b>

ההשפעה של פעולות האדם אינה מוגבלת לאזור שהוא חי בו, אלא היא מתפרסת על פני כל הביוספירה. דוגמה לכך היא העלייה בטמפרטורה הממוצעת בעולם הנובעת כנראה מהגברה של אפקט החממה. את העלייה בטמפרטורה מייחסים מדענים לפליטה רבה של CO<sub>2</sub> לאטמוספירה עקב כריתת יערות ושימוש בדלקים בתעשייה ובתחבורה.

ישנן עדויות רבות מאוד המגיעות מכל רחבי העולם לגבי השפעת השינויים שגורם האדם במערכות אקולוגיות על המגוון הביולוגי (טבלה ו-4).

**עוד על מעורבות האדם במחזורי החומרים ראו בפרק ג.**

טבלה ו-4: דוגמאות להשפעות של מעורבות האדם על המגוון הביולוגי

מעורבות האדם במערכות אקולוגיות	דוגמאות של פגיעה במגוון הביולוגי עקב פעילות האדם
<p><b>הרס בתי גידול וקייטועם</b> בעקבות שינויים בשימושי הקרקע: החלפת יער בשדה חקלאי, ייבוש אגם, יצירת אגם ע"י סכר, סלילת כבישים.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>אגם החולה: ייבוש רוב האגם גרם להכחדה של מיני צמחים, הכחדה מקומית של עופות מים והכחדה מוחלטת של מיני דגים אנדמיים.</li> <li>הריסת שלוליות החורף פוגעת בקרפדות ובצפרדעים ועלולה לגרום להכחדתן.</li> <li>כריתה של יערות גשם בדרום אמריקה והפיכתם לשטחי חקלאות גורמת להכחדה של מינים רבים, מקצתם אינם ידועים.</li> </ul>
<p><b>פלישה ביולוגית:</b> הכנסה מקרית או מכוונת של מינים (טורפים, מתחרים, פתוגנים) לאזור שבו לא התקיימו קודם לכן.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>העץ שיטה כחלחלה הובא לישראל מאוסטרליה והוא פולש לחורש ולבתי גידול בחוף ומשתלט עליהם.</li> <li>ציפורים שברחו מה"צפארי" מתרבות ומתחרות במינים מקומיים.</li> <li>פלישה של מינים, ובכללם המדוזה "חוטית נודדת", מים סוף לים התיכון עקב כריית תעלת סואץ השפיעה על גודל האוכלוסיות של מינים בים התיכון, כנראה עקב תחרות עם המינים הפולשים.</li> <li>אגם ויקטוריה באפריקה: הכחדה של מיני דגים אנדמיים בעקבות הכנסת דג טורף לאגם - נסיכת הנילוס.</li> </ul>
<p><b>זיהום קרקע ומקורות המים:</b> הזרמת שפכים ביתיים ותעשייתיים למים, שימוש בדשנים ובחומרי הדברה בחקלאות.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>בכינרת מתפתחת לעתים "פריחת אצות" הנגרמת מעלייה בריכוזי תרכובות זרחן וחנקן. אם האצות לא ייאכלו הן יפורקו על ידי חיידקים צורכי חמצן. אחוז החמצן במים ירד ויגרום למותם של דגים ואורגניזמים אחרים.</li> </ul>
<p><b>שימוש ברעל להדברה</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>הדברת עכברי שדה ברעל גרמה בעבר למותם של עופות דורסים שטרפו עכברים מורעלים.</li> </ul>
<p><b>זיהום האוויר:</b> פליטה לאוויר של גזים כמו CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>2</sub> וחלקיקי עשן ואבק.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>באירופה ובצפון אמריקה מוכרת התופעה של "גשם חומצי". זיהום האוויר גרם לירידת ה-pH של מי הגשם, הדבר גרם לנשירה של עלים ביערות ולהחמצה של גופי מים (אגמים, נחלים) הפוגעת בדו-חיים ובדגים.</li> </ul>
<p><b>ניצול יתר של משאבים טבעיים</b> כמו: בעלי חיים (המשמשים כמזון) ועצים. פגיעה בחיות בר למטרת שימוש בעור, בפרווה, בקרניים או בחטים (שנהב).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>סכנת הכחדה מאיימת על:</li> <li>הלווייתן הכחול ומינים של דגי מאכל (למשל: דגי Cod) באוקיינוסים,</li> <li>פילים וקרנפים באפריקה,</li> <li>עצי מהגוני וטיק במזרח אסיה.</li> </ul>

**עוד על ההכחדה באגם ויקטוריה ראו בפרק ד.**



שאלה ו-1 תשובה בעמוד מ-54

- א. חפשו מידע על כביש "חוצה ישראל". מהן ההשלכות המשוערות של סלילתו על הטבע שסביבו?
- ב. חפשו מידע על חילוקי הדעות בשאלה: האם להשאיר את כלובי הדגים במפרץ אילת? סכמו את העמדות **בעד** ואת העמדות **נגד** בנושא זה. הביעו את עמדתכם האישית.

## 51. חשיבותו של המגוון הביולוגי



מדוע חשוב לשמור על המגוון הביולוגי ולמנוע פגיעה בו?

תרבויות רבות וגם האמונות הדתיות הנפוצות בעולם, גורסות שעצם קיומם של היצורים החיים מקנה להם זכות בסיסית לקיום ומחייב את האדם לשמור עליהם. (ראו: סיפור תיבת נוח בספר "בראשית", פרק ו, פסוקים יט-כ). בעיני רבים זהו נימוק מוסרי חשוב ביותר לשמירה על הטבע. חשוב לדעת ולזכור שהכחדה של מין היא **בלתי הפיכה**, ומין שאבד – אבד לנצח. כשם שחשוב לשמור על אתר ארכאולוגי או על יצירת אמנות נדירה, כך יש לשמור על המגוון הביולוגי על כל רמותיו (מגוון גנטי, מגוון מינים ומגוון מערכות אקולוגיות).

סיבה חשובה אחרת לשמירה על הטבע היא תועלתנית: המערכות האקולוגיות מספקות לאדם **מוצרים ושירותים** ייחודיים חשובים ביותר אשר בהם תלוי המשך קיומה של אוכלוסיית בני האדם.

הדגש כאן הוא על מוצרים הנלקחים מהטבע ולא כאלה שמגדל האדם. כ-30%-40% מתעשיית התרופות העולמית מבוססת על חומרים שמקורם בטבע.



דיגיטאליס – מעליו מפיקים דיגוקסין

### מוצרים שמקורם במערכת האקולוגית

המערכות האקולוגיות הטבעיות על המגוון שבהן מספקות לבני האדם מוצרים רבים החשובים לקיומם:

**מזון:** מערכות טבעיות (לא חקלאיות) מספקות חלק גדול מהחלבון שבתפריטו של האדם, למשל: בשר, חלב, דגים ופירות ים.

**חמצן:** החמצן שבאטמוספירה מקורו בתהליך הפוטוסינתזה המתרחש בצמחים הגדלים ביבשה ובים.

**חומרים:** צמחים הם מקור חשוב לעץ לבנייה, לסיבים (חבלים וכו'), לתבלינים, לגומי טבעי ועוד. **תרופות:** צמחים, פטריות וחיידקים הם "כימאים" מעולים, וחומרים שנוצרים בהם שימשו מאז ומתמיד כתרופות. דוגמאות לתרופות שמקורן בצמחים: כינין (תרופה נגד מלריה), אספירין (משכך כאבים ומוריד חום), דיגוקסין (מזרז פעילות הלב) ומורפיום (משכך כאבים). גם החומרים האנטיביוטיים, למשל פניצילין, הם תוצרים של אורגניזמים (פטריות) החיים בטבע.

**מידע גנטי:** מיני הבר של צמחי החקלאות הנפוצים הם מאגר של מידע תורשתי המהווה חומר גלם לטיפוח מינים חדשים שיהיו עמידים בתנאי האקלים המשתנים ולא ייפגעו ממזיקים חדשים וממחלות חדשות.



טיפוח מינים חדשים ממיני בר ראו בפרק ז.

### בעין חקלאית: צמחי המזון העיקריים



במהלך הדורות טיפח האדם זנים שונים ממיני הבר של צמחי המזון העיקריים, זנים אלו הם כיום מקור הפחמימות העיקרי במזונו. שלושה מיני דגנים – אורז, חיטה ותירס – מספקים כיום יותר מ-50% מהמזון, ו-20% מינים בלבד מספקים כ-90% מהמזון.

צמח הבר שממנו פותחו הזנים התרבותיים של החיטה הוא חיטת הבר הגדלה בארץ ומכונה "אם החיטה". חיטת הבר נתגלתה על ידי החוקר אהרן אהרונסון (אחיה של שרה אהרונסון "גיבורת ניל"י") בשנת 1906. מינים אחרים שיש להם פוטנציאל רב כמקור מזון עדיין לא מנוצלים וחשוב לשמרם.



## השירותים שמספקת המערכת האקולוגית

השירותים שמספקת המערכת האקולוגית אינם תמיד מובנים מאליהם. על אף החשיבות הרבה של השירותים האלה לא אחת קשה להעריך את ערכם הכלכלי בהווה או בעתיד.

השירותים של המערכות האקולוגיות החשובים לאדם הם אלה:

**יצירת קרקע ושמירתה:** בתהליך יצירת הקרקע יש לאורגניזמים הגדלים בה תפקיד חשוב ביותר. שורשי הצמחים גורמים לפירור מכני ולפירוק כימי של הסלעים ומונעים את סחיפת הקרקע. אורגניזמים בקרקע תורמים לפוריותה ולאןורורה.

**מחזור חומרים:** פירוק של שאריות חומרים אורגניים ומחזור חומרים (בעיקר חנקן, זרחן וגפרית) על ידי היצורים החיים בקרקע (אוכלי שיירים, פטריות וחיידקים) תורמים להרכב הכימי של הקרקע.

**האבקה והפצת זרעים:** ההמשכיות של מינים רבים של צמחים, ובהם רוב מיני הגידולים החקלאיים, תלויה בחרקים המאביקים אותם. זרעים המתפתחים בעקבות ההאבקה וההפריה מופצים על ידי בעלי חיים, כמו: נמלים, ציפורים ויונקים. יחסי הגומלין הללו התפתחו במשך דורות רבים של אבולוציה.

**טיהור מים:** המים המחלחלים לאטם בקרקע ובשכבות הסלע עוברים תהליך של סינון וטיהור. חלחול אטי שכזה אינו אפשרי במדרונות שבהם אין צמחים, ולכן המים ניגרים במהירות מעל פני הקרקע ואינם מחלחלים למי התהום.

**מקור ליצורים המתאימים להדברה ביולוגית:** היתרונות של הדברה ביולוגית על פני הדברה כימית (להשמדת עשבים שוטים וחרקים מזיקים) מוכרים לרבים. החיפוש אחר אויבים טבעיים של מזיקים בחקלאות הוא חיפוש מתמיד, וגם במקרה זה המגוון הביולוגי הוא המקור לאויבים פוטנציאליים כאלה.

**פירוק מזהמים במים ובאוויר:** נמצאו חיידקים המפרקים נפט, ואפשר להשתמש בהם לניקוי סביבה שזוהמה בנפט. חיידקים אחרים מפרקים תרכובות המכילות פלואור הפוגעות באוזן. צמחים מסוימים (למשל: יקינטון המים) קולטים יונים של מתכות וצוברים אותם ברקמותיהם וכך מסייעים לטיהור מים שזוהמו.

**מקור של ידע מדעי:** חקירת המגוון הביולוגי תורמת תרומה חשובה לשני תחומים בביולוגיה: אבולוציה וסיסטמטיקה. הכרה מעמיקה של האורגניזמים וסביבת החיים שלהם תורמת להבנת ההתפתחות האבולוציונית שלהם ומסייעת בבניית מערכות המיון.

**מקור של הנאה והשראה לבני האדם:** יופיו של הטבע ושל היצורים החיים בו הוא ערך חשוב בעיני אנשים רבים, והוא מחולל פעילות כלכלית רבה, כמו תיירות בכלל ותיירות אקולוגית בפרט. תיירות אקולוגית מתמקדת באתרים שבהם הצומח, החי והמורשת התרבותית הם במרכז העניין. לתיירות האקולוגית יש כיום תפקיד חשוב גם כאמצעי לשמירת הטבע והמגוון הביולוגי.

מפולות בוץ קטלניות המתרחשות לעתים בעקבות גשמי המונסון במזרח אסיה הן תוצאה של הרס הצמחייה הטבעית במורדות ההרים.



הרכב הקרקע ראו בפרק ב, סעיף ב7.



הדברה ביולוגית ראו בפרק ד ובפרק ז.



כמה שווה לי הנוף הזה?

מעניין לדעת



קבוצה של 13 חוקרים פרסמה בשנת 1997 את הערכתם לגבי ערכו הכספי כלכלי של המגוון הביולוגי: 33 מיליארד (מיליארד=אלף מיליונים) דולר לשנה!





שאלה ו-2 תשובה בעמוד מ-55

בדקו בפרסומות של החברות המספקות מים מינרלים בבקבוקים: מהו מקורם של מים אלה ומהן תכונותיהם המיוחדות.



## 6. שמירה על המגוון הביולוגי

כיום ברור לכל, שהמגוון הביולוגי חשוב לקיום המערכות האקולוגיות על פני כדור הארץ ולקיום האדם. התפיסה שעל האדם "לשלוט בטבע" משתנה בהדרגה לתפיסה – "לחיות בהרמוניה עם הטבע". בארץ וגם בעולם ננקטות פעולות רבות ושונות לשמירה על המגוון הביולוגי על כל רמותיו – שמירה על המגוון הגנטי, על מינים ועל מערכות אקולוגיות.



נוף בשמורת החולה

### שמורות טבע

**שמורות טבע** הן אתרים בעלי ייחוד ביולוגי, שעל פי חוק יש פעילויות שאסורות בהן, כמו ציד, חקלאות ובנייה. בארץ יש יותר מ-200 שמורות טבע שהראשונה בהן – שמורת החולה – הוכרזה בשנת 1964 בעקבות פעולת הייבוש הנרחבת של רוב השטח שהיה בעבר ביצות ואגם החולה. בשמורת החולה נעשה מאמץ לשמור על המערכת האקולוגית הייחודית של בית הגידול המימי כולל בעלי החיים והצמחים הגדלים בו. הצפה של מקצת מהאזור שיושב בעבר והקמת אגמון החולה הוא אמצעי נוסף לשמר את המגוון הביולוגי.

### "מסדרונות" אקולוגיים-גיאוגרפיים

מחקרים הראו שסיכוייהן של אוכלוסיות לשרוד תלוי לא מעט בקיומם של שטחים המקשרים בין אוכלוסיות קטנות או מבודדות ומאפשרים מעבר של פרטים מאוכלוסייה אחת לאחרת. במסדרונות אלה יכולים פרטים לעבור כדי למצוא בני זוג לרבייה וכך לצמצם את הסכנה להיכחדותן של האוכלוסיות המבודדות.

בארץ הומלץ להקצות ארבעה צירים שישמשו כ"מסדרונות". אחד מהם הוא לאורכה של בקעת הירדן (הבקע הסורי-אפריקני). ציר שני – לאורך חופי הים התיכון שבו יש מערכות אקולוגיות של חול וכורכר שסכנת הכחדה מרחפת עליהן. כמו כן הומלץ לייחד "מסדרונות" לרוחבה של הארץ לאורך אפיקי נחלים שהם מערכות אקולוגיות מימיות הנמצאות בסכנת הכחדה.

### אוספים של אורגניזמים

בעבר הוקמו גני חיות וגנים בוטניים כדי להציג למבקרים את האורגניזמים המיוחדים וה"מוזרים" שהובאו לגנים ממקומות רחוקים ונידחים בעולם. בעלי חיים ניצודו במיוחד כדי למכרם לגני חיות ולהציגם לקהל. כיום יש לגנים האלה ייעוד נוסף והוא שמירה על מינים מסוימים מפני סכנת הכחדה. גן החיות הפך להיות "גן זואולוגי". בגנים אלה לא רק שומרים על בעלי החיים, אלא גם מטפחים גרעיני רבייה – פרטים של מינים נדירים שמאפשרים להם להתרבות בתנאים מוגנים ונוחים כך שבעתיד ניתן יהיה להשיב את צאצאיהם לטבע. לא תמיד מצליחים בכך שכן יש בעלי חיים (לדוגמה: פנדה) שאינם מתרבים היטב בתנאי השבי.



פנדה



בע"ח בארץ שנעשה מאמץ להשיבם לטבע: עיטם לבן זנב, אייל הכרמל

דרך נוספת לשמור על מינים ולהרבותם היא החזקתם בשטחים טבעיים אך מוגנים כגון ה"חייבר" בכרמל וביטבתה. באזורים אלה בעלי החיים נהנים מתנאים טבעיים ככל האפשר, אך הם מוגנים. גם כאן המטרה היא להגיע לכך שניתן יהיה להשיב לטבע פרטים של מינים, כדוגמת היחמור, הנשר ואייל הכרמל, שנכחדו מנוף הארץ.

### "בנקים" של זרעים ושל חומר גנטי

הגנים והשמורות נועדו לשמור על אורגניזמים. אולם הטכנולוגיות החדישות מאפשרות גם לשמור על זרעים ועל חלקי יצורים (כמו רקמות) ובעתיד לקבל מהם יצורים שלמים.

### חקיקה ואמנות בין-לאומיות

במדינת ישראל קיים חוק גנים לאומיים ושמורות טבע. מטרת החוק היא לשמור על שטחים שהוכרזו כ"שמורות טבע" מפני שינויים בלתי רצויים, וכן להגן על מינים מפני הפגיעה בהם. במסגרת החוק הוגדרו גם:

"ערך טבע" – כל דבר או סוג דברים שבטבע, בין חי, בין צומח ובין דומם, שיש ערך לשמירתו.  
 "ערך טבע מוגן" – ערך טבע, שיש חשיבות בשמירתו או סכנה להכחדתו, והוא הוכרז בחוק כערך טבע מוגן.

**אמנה בין-לאומית לשמירת המגוון הביולוגי** (Convention on Biological Diversity-CBD) נחתמה בריו דה'ז'ניירו שבברזיל בשנת 1992. כ-200 מדינות חתומות על האמנה, ובכללן ישראל.

### מדוע נחוצה אמנה בין-לאומית?



שמירה על המגוון הביולוגי אינה "עניין פרטי" המוגבל למדינה אחת או לאזור מסוים, אלא בעיה כלל עולמית שיש לה השלכות לעתיד האנושות. הצורך לפעול למען השמירה על המגוון הביולוגי הוא שעורר את הארגונים הבין-לאומיים, למשל האו"ם, לנסח אמנות שנועדו להבטיח שמירה על המגוון הביולוגי.

הגידול באוכלוסיית בני האדם והרצון לפתח את הכלכלה כך שאוכלוסייה זו תוכל להתקיים יוצר התנגשות בין הצרכים העכשוויים של בני האדם לבין הצורך לשמור על משאבי הטבע ועל היצורים בטבע למען הדורות הבאים. ידועים מקרים שבהם ניצול בלתי מבוקר על ידי בני אדם שחיו באיים שבאוקיינוס השקט הביא להכחדת מקורות הקיום שלהם וגרם בסופו של דבר להכחדת בני האדם שחיו באיים אלה.

הדרך שאמורה למנוע סכנה קיומית כזו למין האנושי היא **פיתוח בר-קיימא או קיימות**.



חקלאות בת-קיימא ראו  
בפרק 2.

פיתוח בר-קיימא הוא פיתוח כלכלי העונה על הצרכים והשאיפות של הדור הנוכחי בלי לפגוע באפשרות למלא אותם צרכים ושאיפות גם בדורות הבאים.



שאלה ו-3 תשובה בעמוד מ-55

בשנת 2004 נחקק בישראל חוק לשמירת חופי הים התיכון – חוק החופים. החוק אוסר כליל על בנייה ברצועת החוף שרוחבה 300 מטר. כיצד מבטא חוק זה עקרונות של פיתוח בר-קיימא? הסבירו.

## 7. מגוון ביולוגי בישראל

הנתון המרשים ביותר של המגוון הביולוגי בישראל הוא שעל אף שטחה הקטן יחסית (כ־21,600 קמ"ר) המגוון הביולוגי בה עשיר ביותר: כ־2,800 מינים של צמחי-בר, כ־530 מיני עופות, כמאה מיני יונקים, כמאה מיני זוחלים, כ־25,000 מיני חרקים וכ־100 מיני שבלולים.

### מעניין לדעת

המספר הממוצע של מיני הצמחים לקמ"ר בישראל הוא 8.58, ביוון – 3.17, ובאיטליה – 1.86. מספר מיני העופות בישראל לקמ"ר הוא 15.8 (כולל מינים נודדים) והוא גדול פי 8 (!) ממספר העופות לקמ"ר באנגליה ובאירלנד.



בול שבעת המינים (1982)

### הרחבה: מעט על ההיסטוריה של חקר טבע הארץ

אחד ממקורות המידע על הצמחים ובעלי החיים של הארץ הוא התנ"ך. בתנ"ך מוזכרים 100 מיני צמחים ו-120 מיני בעלי חיים. רק מקצתם ניתנים לזיהוי מדויק עם מינים הקיימים היום בארץ. שבעת המינים – חיטה, שעורה, גפן, תאנה, רימון, זית ותמר – מזהים באופן ודאי. כך גם חיות הבית: בקר, כבש, עז, חמור וגמל. לגבי שאר היצורים הזיהוי אינו ודאי.

מחקר אינטנסיבי של טבע הארץ החל במאה ה־19 עת הגיעו לארץ חוקרים שטבע הארץ היה מוקד התעניינותם. בתחילת המאה ה־20, עם התגברות העלייה לארץ, הגיעו גם מדענים שתרמו להקמת מוסדות מחקר ולמיסודו של המחקר הבוטני והזואולוגי. המגדיר המדעי הראשון לצמחי הארץ חובר על ידי א. איג, מ. זהרי ונ. פינברון מהאוניברסיטה העברית בירושלים ויצא לאור בשנת תרצ"א (1931). כיום יש בידניו מידע מקיף על המגוון הביולוגי בארץ. יחד עם זאת, מינים חדשים, בעיקר חרקים ורכיכות, עדיין מתגלים מדי פעם.

## מקורותיו של העושר הביולוגי בישראל

### מהם הגורמים לשפע המינים בארץ?



כל המטייל בארץ מצפונה ועד לדרומה לא יכול שלא להתרשם מהעובדה שבטווח של כ־500 ק"מ אפשר לעבור מהרים מכוסים שלג בחרמון (בעונת החורף, כמובן), דרך חורש ירוק וסבון,



מפת מסלולי נדידת העופות

דיננות חול לאורך חוף הים ולהגיע אל מישור מדברי צחיח ואל שונית אלמוגים טרופית. אפשרות כזו לא קיימת, למשל, לתושבי האיים הבריטיים שארצם גדולה פי כמה מארצנו. מגוון הנופים מבטא גם עושר ביולוגי. מקורותיו של עושר זה הם המיקום הגיאוגרפי המיוחד של ישראל והמגוון האקלימי והנופי (הטופוגרפי) שלה.

### ■ ישראל כגשר בין יבשות

ההיסטוריה הגיאולוגית של ישראל תרמה רבות למגוון הביולוגי. בעידנים הקדומים היו תקופות שהים כיסה את רוב הארץ, ורק מאוחר יותר נסוג הים והארץ הייתה ליבשה. גם האקלים השתנה במהלך התקופות: מאקלים טרופי חם ולח לאקלים יבש יותר. השינויים המהותיים ביותר היו החיבור בין שלוש יבשות: אסיה, אפריקה ואירופה וההפרדה ביניהן שאירעו יותר מפעם אחת. המפגש בין היבשות וההפרדות ביניהן אירעו לסירוגין במהלך

התקופות הגיאולוגית וכל שינוי כזה הביא לאזור יצורים שהתאקלמו ונתרו כאן, אולם הוא גרם גם להכחדתם של אחרים. בעקבות תהליכים אלה שנמשכו מיליוני שנים נוצר צירוף עשיר וייחודי של מינים. התופעה הבולטת ביותר הקשורה לכך שישראל היא גשר בין היבשות היא מסלולי הנדידה של העופות בין אירופה לבין אפריקה העוברים בתחומי ישראל. מעריכים שמדי שנה חולפות בישראל בסתיו ובאביב, כמיליארד ציפורים וביניהן: החסידה הלבנה והשקנאי המצוי.



שקנאים ב"חניה" בעמק חפר

### ■ הטופוגרפיה והאקלים

צורת נוף ייחודית בארץ היא הבקע ("השבר") הסורי-אפריקני שנוצר לפני 35 מיליון שנה בין ה"לוח האפריקני" וה"לוח הערבי". הבקע משתרע לאורך 5,000 ק"מ מסוריה בצפון ועד למוזמביק שבאפריקה. ים המלח נמצא בבקע והוא המקום היבשתי הנמוך ביותר על פני כדור הארץ, כ-400 מטר מתחת לפני הים. הבקע הוא אזור ייחודי הן מבחינת אקלימו והן מבחינת הטבע שבו. לאורכה של הארץ ניתן להבחין גם במגוון אקלימי: מאזורים לחים למחצה בעלי אקלים ים-תיכוני לאזורים צחיחים בעלי אקלים מדברי. כמות המשקעים היורדת במקומות שונים בארץ משתנה לאורכה, מהצפון אל הדרום: מכ-1000 מ"מ בצפון ועד לכ-50 מ"מ גשם בדרום במוצע שנתי. כמות המשקעים הממוצעת משתנה גם לרוחבה: היא הולכת ועולה מהים במערב, מקור ענני המשקעים, עד לשדרת ההר המרכזית ולאחר מכן יורדת לעבר המזרח. השינויים בכמות המשקעים נובעים גם מגובהו של האזור: באזורי ההרים בארץ – החרמון, הגליל, הכרמל והרי יהודה – יורדת כמות משקעים רבה יותר מאשר בעמקים ובמישורים. המדרונות המערביים "זוכים" ליותר גשמים מהמדרונות המזרחיים, שכן העננים והרוח מגיעים בעיקר מהמערב, מהים התיכון. פני השטח והמפנה הם גורמים מקומיים המשפיעים גם הם על המגוון הביולוגי.



נוף בעין גדי סמוך לים המלח



### ■ סיכום הפרק

1. המגוון הביולוגי מקיף את כלל האורגניזמים, בתי הגידול והמערכות האקולוגיות.
2. בעשרות השנים האחרונות גוברת הדאגה מהפגיעה במגוון הביולוגי ובמערכות האקולוגיות שבהן תלוי המשך קיומה של אוכלוסיית בני האדם, אך גם מהפגיעה בערכים מוסריים, אסתטיים ותיירותיים.
3. המגוון הביולוגי הוא תוצאה של השפעות המשולבות של גורמים אבולוציוניים גורמים גנטיים (מוטציות ורבייה זוויגית) וגורמים אקולוגיים.
4. ככל הידוע היום למדענים, המגוון הביולוגי הוא עצום וכולל עשרות מיליוני מינים אך מתוכם ידועים פחות מ־2 מיליוני מינים.
5. ההסבר להשתנות המגוון הביולוגי מקו המשווה אל הקטבים מבוסס על השפעותיהם המשולבות של הגורמים הא־ביוטיים והגורמים הביוטיים במשך העידנים.
6. בני האדם משפיעים על המגוון הביולוגי ולעתים קרובות פוגעים בו על ידי הרס בתי גידול, זיהום הסביבה, ציד ודיג בהיקף נרחב והעברת מינים ממקום למקום.
7. פגיעה במגוון הביולוגי עשויה להקטין את זמינות המוצרים שהמערכות האקולוגיות מספקות לבני האדם ולפגוע בשירותים שהן מספקות.
8. השמירה על מינים ועל מערכות אקולוגיות נעשית באמצעות הקצאת שטחים לשמורות טבע, הכנת אוספים של יצורים ויישום שיטות של פיתוח בר־קיימא.
9. המגוון הביולוגי בישראל הוא גדול מאוד יחסית לשטחה עקב מיקומה הגיאוגרפי כגשר בין שלוש יבשות וההיסטוריה הגיאולוגית שלה.

### ■ מושגים חשובים

מין אנדמי	אבולוציה
מסדרון אקולוגי	ברירה טבעית
עושר מינים	הכחדה
פיתוח בר־קיימא	זיהום (קרקע, מים, אוויר)
פלישה ביולוגית	כושר נשיאה (של כדור הארץ)
קיטוע בתי גידול	מגוון ביולוגי
רמות ארגון	מוצרים (של מערכת אקולוגית)
שונות	שירותים (של מערכת אקולוגית)
שמורות טבע	מחסום ביוגיאוגרפי

ז

# החקלאות - מעורבות האדם בטבע



## מבט על הפרק

החקלאות היא דוגמה מובהקת של התערבות האדם בטבע. מצד אחד, החקלאות מספקת מזון ומוצרים אחרים לקיומם של בני האדם ולרווחתם. מצד שני, היא מתחרה עם האורגניזמים האחרים על שטחים ומשאבים אחרים, משנה באופן מהותי את התנאים בסביבת החיים של אורגניזמים ומעמידה בסכנה את המשך קיומם.

הדגש בפרק הוא על **עקרונות ביולוגיים** של השיטות בחקלאות המודרנית והשפעתן על הסביבה הטבעית. רבים מהנושאים בפרק מתבססים על נושאים שנלמדו בפרקים ב, ג, ד, ו והפניות מתאימות מופיעות במסגרות בשולי הטקסט.

אולם, כפי שידוע לכולנו, החקלאות איננה המעורבות היחידה בטבע. הגידול המתמיד באוכלוסיית בני האדם גוררת בעקבותיה ניצול גובר של משאבי טבע כמו, קרקע (למגורים, תעשייה, תחבורה, הטמנת פסולת), מים (לשתייה, השקיה, הפקת חשמל) בעלי חיים וצמחים (מזון, תרופות, חומרי בנייה) ושינוי התנאים בסביבה על ידי מזהמים שונים ("גזי חממה", נפט, פסולת רעילה).

## ז החקלאות - מעורבות האדם בטבע



מעורבות האדם במחזורי החומרים ראו בפרק ג.  
מעורבות האדם ביחסי הגומלין בטבע ראו בפרק ד.

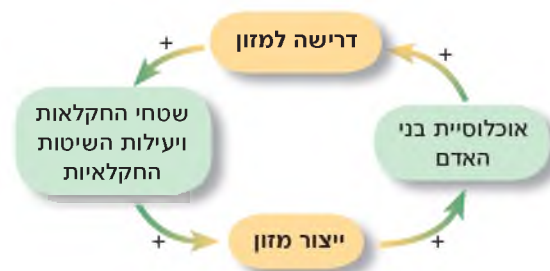
המעורבות של האדם בטבע צוינה לא אחת בפרקים הקודמים. אחת הדרכים העיקריות שבהן האדם מתערב בטבע היא **החקלאות**. החקלאות היא ענף כלכלי שמטרתו לספק בעיקר מזון אך גם מוצרים רבים אחרים לתצרוכת בני האדם, למשל כותנה לאריגים, פרחים. החקלאות במובנה הרחב כוללת גידול צמחים, גידול בעלי חיים במכלאות או בשטחים פתוחים או מגודרים, גידול דגים וצמחי מים בברכות ביבשה וגידול דגים בכלובים בים. הפעילות החקלאית לסוגיה משפיעה על משאבי המים והקרקה, על מחזורי החומרים, על יחסי הגומלין בין האורגניזמים ועוד. מכלול ההשפעות האלה פוגע לעתים קרובות בטבע ובאיכות הסביבה שאנו חיים בה.

### 1.1 גידול האוכלוסייה ומזון

המזון המגיע לשולחן של רובנו נקנה בשוק או במרכול (בסופרמרקט) והוא תוצר של המערכות המופעלות ומנוהלות על ידי החקלאים: שדות שבהם מגדלים ירקות ותבואות, כמו חיטה, תירס ואורז, מטעי פירות, חממות לגידול ירקות, רפת למוצרי חלב, עדרי צאן ובקר לבשר, ברכות דגים, לולי תרנגולות. הגידול באוכלוסיית בני האדם והתפתחותה של החקלאות קשורים זה בזה כלולת משוב חיובי: מצד אחד הגידול בייצור המזון כתוצאה משיפור השיטות לגידול צמחים ובעלי חיים מאפשר לאוכלוסיית בני האדם לגדול, ומצד אחר גידול האוכלוסייה מגביר את הדרישה למזון (איור 1-1).



תוצרים של מערכות חקלאיות



איור 1-1: משוב חיובי בין גידול באוכלוסיית בני האדם והחקלאות (הסימן + מציין גידול).

האם התהליך המעגלי הזה יכול להימשך עד אין סוף?



תשובה לשאלה זו הוצעה על ידי הכומר האנגלי תומס מלתוס (Thomas Malthus) בספר שפירסם בשנת 1798. מלתוס שנחשב ל"כלכלן פוליטי" טען, שיש גבול עליון לגידולה של אוכלוסיית בני האדם, משום שקצב גידול האוכלוסייה גדול פי כמה מקצב הגידול של ייצור המזון, ובסופו של דבר לא יהיה די מזון לבני האדם, ובעקבות זאת רבים ירעבו, יתפשטו מחלות ויפרצו מלחמות וגידול האוכלוסייה ייבלם.

לפי שעה תחזיתו הקשה של מלתוס אינה מתממשת, כי שיפור מתמיד של שיטות העיבוד החקלאי וייצור המזון מצליח לספק את הצרכים של האוכלוסייה הגדלה. אמנם יש כיום אזורים בעולם שבהם יש רעב, אך סיבתו אינה מחסור במזון, אלא אי השוויון בחלוקתו בעולם. אולם לשיפור המתמיד ביכולת לייצר מזון יש מחיר: החקלאות "גוזלת" שטחים טבעיים, מנצלת משאבים, משנה את הסביבה ופוגעת בדרכים שונות בחי ובצומח.

### מעניין לדעת: על מספרים ואנשים

מספר בני האדם בשנת 2007 הוא כ־6.6 מיליארד והוא צפוי לגדול ל־12 מיליארד עד 2050. בימיו של מלתוס נדרשו 20 דונמים של קרקע לגידול מזונותיו של אדם יחיד. כיום, עקב שיפור השיטות בחקלאות וטיפוח הגידולים, די בשני דונמים.

### מלקט וציד להנדסה גנטית

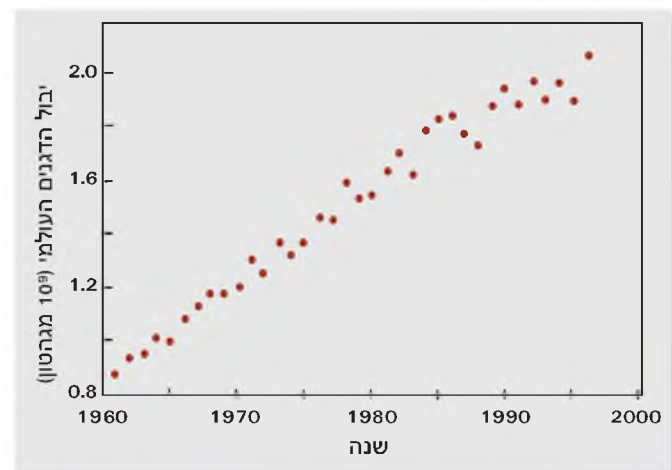
התפתחות השיטות להשגת מזון ומוצרים אחרים, החשובים להשרדות האדם, החלה שנים רבות לאחר שהופיע האדם הנבון המודרני (*Homo sapiens sapiens*) על במת העולם, לפני כ־160,000 שנה. עד לפני כ־10,000 שנה התקיימו בני האדם מציד חיות בר ומלקט של צמחי מאכל. אורח חיים שהיה מבוסס על **ציד ולקט** חייב נדידה ממקום למקום על פי זמינות המזון והוא הגביל את גודלן של האוכלוסיות. שיטות הציד של האדם הקדמון השפיעו על הסביבה הטבעית: לא רק שנכחדו מיני בעלי חיים גדולים אלא גם נשרפו יערות וערבות עשב שהוצתו כדי להבריא מתוכם את בעלי החיים ובכך להקל על הציד.

המהפכה החקלאית החלה לפני כ־10,000 שנה ומאפייניה היו **ביות** של חיות משק, למשל: פרות, תרנגולות וכבשים, שסיפקו בשר, חלב, ביצים עורות וצמר וטיפוח צמחי מאכל וגידולם בשטחים מעובדים. אורח החיים החקלאי הביא להפסקת הנדידה ולמעבר להתישבות קבע כדי להשגיח על הגידולים ולאסוף את היבולים. הכשרת שדות ושטחי מרעה לבעלי החיים והצורך בעץ לבנייה וכמקור לאנרגיה הביאו לכריתה נרחבת של יערות.

במהלך השנים השתכללו במקומות שונים בעולם שיטות ההשקיה, האיכרים החלו לזבל את השדות בהפרשות של בעלי חיים ואומצו שיטות של **מחזור גידולים** (עמוד 153). גם מגוון הגידולים התרחב (בעקבות גילוי אמריקה בשנת 1492); מאמריקה העבירו לאירופה ("העולם הישן") תפוחי אדמה, תירס ועגבניות. **המהפכה התעשייתית** שהחלה במאה ה־18 הביאה להכנסת מיכון לחקלאות, למשל בעבודות החריש והקציר (מחרשות וקומביינים).

ציון דרך חשוב בהתפתחות החקלאות זכה לשם **המהפכה הירוקה** שהחלה עם תום מלחמת העולם השנייה. הגורם שהניע אותה הוא המצאת התהליך הכימי של יצירת אמוניה מהיסודות חנקן ומימן. התהליך הזה פותח על ידי פריץ הבר (F. Haber) בגרמניה בתחילת המאה ה־20 והיה הבסיס לתעשייה של דשנים חנקניים שהגדילו מאוד את היבולים בשדות (איור 2-2). זמינותו של הדשן החנקני אפשרה לגדל מזון גם באזורים לא פוריים. המהפכה הירוקה הביאה להתפתחות **החקלאות האינטנסיבית** המבוססת על גידולים שהיבול שלהם ליחידת שטח הוא גבוה, הם מקדימים לתת יבול ותגובתם לדישון היא חיובית. על אף

הנתונים לגבי מועד הפעתו של האדם הנבון המודרני (*Homo sapiens sapiens*) הם שונים. באפריקה נמצאו מאובנים בני למעלה מ־100,000 שנה ובאירופה מלפני כ־50,000 שנה.



איור 2-2: הגידול ביבול הדגנים בהשפעת "המהפכה הירוקה"

הגידול ביבולים היו למהפכה החקלאית גם היבטים שליליים: כדי להרחיב את גידולי החקלאות לשטחים לא פוריים ולקבל יבולים גדולים הורחב השימוש בדשנים, בקוטלי עשבים ובקוטלי מזיקים. כל אלו גרמו בהדרגה לזיהום הסביבה. למהפכה הירוקה היו גם השלכות לוואי חברתיות, כמו צמצום שיעורם של החקלאים באוכלוסייה ומעבר של חקלאים לערים. המחצית השנייה של המאה ה-20 הביאה לחקלאות את בשורת ההנדסה הגנטית שבעקבותיה הולך ומתרחב השימוש **בזנים מהונדסים** בעלי ערכים תזונתיים משופרים, העמידים למזיקים ולעקה סביבתית ובעלי חיי מדף ארוכים. שיטות ההנדסה הגנטית צמצמו את השימוש בחומרי הדברה המזיקים לסביבה. ההשפעה של הזנים המהונדסים על הסביבה עדיין אינה ידועה, והדעות חלוקות באשר ליתרונות ולחסרונות של שימוש בהנדסה הגנטית בחקלאות.



שאלה ז-1 תשובה בעמוד מ-55

התפתחות החקלאות משפיעה לרעה על מערכות אקולוגיות. תארו שתי השפעות כאלה והסבירו אותן.

## 2. לא רק מזון: מוצרים ושירותים של החקלאות

עד כה תואר תפקידה העיקרי של החקלאות - סיפוק מזון לבני האדם. אולם החקלאות בעבר, וגם כיום, מספקת עוד **מוצרים** רבים לבני האדם, וביניהם: משקאות למיניהם (קפה, קקאו, תה לסוגיו ומשקאות אלכוהוליים), תרופות, תבלינים ובשמים, סיבים (משי, צמר, כותנה, פשתן, חבלים), עץ לבנייה, לחימום ולהפקת נייר ופרחים לנוי.

היום מספקת החקלאות **שירותים** חשובים התורמים לסביבה. לדוגמה: פרדסים ושדות כותנה מושקים **במי קולחין** ובדרך זו מחזירים מים למחזור המים המקומי; עדרי צאן ובקר רועים בשמורות טבע ובשטחים פתוחים ובכך נשמר **המגוון הביולוגי** וקטנה סכנת השרפות; יערות הניטעים כדי לספק עץ וחומרי גלם לייצור נייר מגבירים את הקליטה של CO<sub>2</sub> המאיטה את העלייה בטמפרטורה העולמית (הקטנת **אפקט החממה**).

מוצר חדש של המערכות החקלאיות הוא אתנול המיוצר מקנה סוכר, מתירס, משעורה ומחיטה ומשמש כדלק חלופי או כתוספת לדלק למכוניות.

בשנים האחרונות מתפתח בארץ וגם בעולם ענף המכונה בשם **חקלאות תיירותית** שבמסגרתו נפתחים לתיירים העירוניים יישובים ומתקנים חקלאיים וניתנת להם הזדמנות לצפות בתהליכי הייצור ולהשתתף בחוויית הקטיף והאסיף של מוצרי השדה והמטע. הסיבות העיקריות לפיתוחו של הענף החדש היא קשייהם של החקלאים להתפרנס מחקלאות בלבד והתרחבות תרבות הפנאי של האזרחים. הנוף החקלאי גם הוא מוקד משיכה לתיירים; באנגליה, למשל, מחייבת הממשלה את החקלאים לשמור על הנוף החקלאי המהווה מוקד משיכה לתיירים. מכאן עולה שהחקלאות מספקת יותר מאשר מוצרים חיוניים להישרדות האדם - היא גם תורמת לאיכות חיון, לבריאותו ולהנאתו.

## 3. הטכנולוגיה בחקלאות והבסיס הביולוגי שלה

החקלאות המודרנית מבוססת על ידע שהצטבר מניסיונם של החקלאים וממצאי מחקרים. שיטה חקלאית שהייתה ידועה כבר בימי קדם היא **מחזור זרעים** או **מחזור גידולים**. על פי שיטה זו זרעים בחלקת שדה גידולים שונים לסירוגין (אין מגדלים אותו גידול פעמיים ברצף).



מוצרים ושירותים של המערכת האקולוגית ושמירת המגוון הביולוגי ראו בפרק 1.





שדה אספסת

בכל מחזור נהוג לשלב גם גידול סוג כלשהו של קטניות כדי להעשיר את הקרקע בחנקן. דוגמה: במחזור גידולים תלת־שנתי מגדלים: חיטה, תירס, תלתן או אספסת (שניהם ממשפחת הקטניות).

התועלות של מחזור גידולים:

1. העשרת הקרקע בתרכובות חנקן זמינות לצמחים: בשנה שבה גדלים בחלקה הצמחים ממשפחת הקטניות, המקיימים יחסי שיתוף



מחזור החנקן ראו בפרק ג.

עם חיידקים קושרי חנקן, נוספות לקרקע תרכובות חנקן זמינות לצמחים.

2. בקרה טובה יותר על עשבי בר: למשל, בשנה שבה מגדלים תלתן או אספסת קוצרים את היבול לפני שעשבי הבר פורחים ויוצרים זרעים. בדרך זו מפחיתים את הופעתם של העשבים בשנה שלאחר מכן. שימוש בקוטלי עשבים שהם ייחודיים לדגניים בשנה שבה מגדלים קטניות, מקטין את ההופעה של עשבי בר מקבוצת הדגניים גם בשנה שבה מגדלים חיטה, ולהפך.
3. בקרה על המזיקים: רוב המזיקים הם ייחודיים לגידול מסוים, וכאשר גידול אחד מוחלף בגידול אחר, קטנה אוכלוסיית המזיקים הייחודיים לו, מכיוון שחולף זמן עד להתפתחות אוכלוסיית מזיקים הייחודיים לגידול החדש.

השיטות המודרניות בחקלאות מטרתן להשיג יבולים מרביים והן מבוססות על ארבעה עקרונות אלו:

1. הקטנת השפעתם של גורמים מגבילים (א־ביוטיים וביוטיים).
2. ויסות של תהליכי רבייה באמצעות ויסות מלאכותי של אותות סביבתיים.
3. התערבות האדם במידע גנטי: טיפוח והשבחה באמצעות ברירה מלאכותית והנדסה גנטית.
4. בקרה של תהליכי התפתחות, הבשלה והזדקנות.

להלן יורחב ההסבר של כל אחד מהעקרונות.

**עקרון 1: הקטנת השפעתם של גורמים מגבילים (א־ביוטיים וביוטיים):** מים, פוריות הקרקע, גודל השטח הזמין לעיבוד, חומרי הזנה מינרליים, מתחרים, מזיקים וטפילים גורמי מחלות.

קרקע פורייה: קרקע שאין בה מחסור במינרלים ובחמצן.

בטבלה ז-1 מוצגות דוגמאות לשיטות הנהוגות כיום בחקלאות להקטנת ההשפעה של גורמים מגבילים. אחת הדוגמאות היא החממות המיועדות לגידולי ירקות ופרחים. בחממות יוצרים תנאי מיקרו־אקלים האופטימליים לגידול המסוים וכך מצליחים לקבל יבולים גדולים משטח קטן יחסית גם בעונות השנה שבהן הטמפרטורה ושעות האור ביממה אינן אופטימליות. דוגמה נוספת היא השקיה בהמטרה או באמצעות טפטפות המגדילה את היבולים, מכיוון שמוסיפים מים בעונה היבשה או בתקופות של אי־סדירות בכמות המשקעים.



חממות

טבלה ז-1: שיטות עיקריות להקטנת השפעתם של גורמים מגבילים בחקלאות

הגורם המגביל	השפעת הגורם על הייצור החקלאי	דוגמאות לשיטות עיקריות להקטנת השפעת הגורם המגביל
מים	צמחים זקוקים לכמות גדולה של מים לגידולם ולהשגת יבולים. בעלי חיים זקוקים למים.	השקיה בתעלות, במטרות, ובמערכות טפטוף. חיפוי (כיסוי) הקרקע להקטנת התאדות ממנה. העמדת שקתות למים בשטחי המרעה, בלולים וברפתות.
טמפרטורה	לכל גידול חקלאי (צמח או בעל חיים) יש טמפרטורה מיטבית להתפתחותו ובטמפרטורות נמוכות מאוד או גבוהות מאוד הגידול יינזק.	גידול צמחים בחממה, כיסוי אשכולות בננות בשקי פלסטיק למניעת נזקי קרה. צינון לולים ורפתות באמצעות התזת מים על הגג.
אור	האור הוא מקור האנרגיה לפוטוסינתזה.	הארכת שעות האור הרגילות על ידי תוספת תאורה בחממות.
חומרי הזנה	צמחים זקוקים ל- $CO_2$ ולמינרלים שונים לגידולם בעיקר: חנקן, זרחן ואשלגן, אך גם יסודות אחרים כמו ברזל, מגנזיום.	הזרמת $CO_2$ לחממות, הוספת דשן כימי וזבל אורגני לקרקע, "מחזור גידולים".
	בעלי חיים (כמו, פרות, עופות ודגים) זקוקים למזון עשיר.	הוספת מזון חלבוני מרוכז לבעלי החיים, הכולל גם מינרלים וויטמינים.
חמצן בקרקע ובמים	השורשים זקוקים לחמצן להפקת האנרגיה הנחוצה לקיומם לרבות קליטה פעילה של חומרים מהקרקע. דגים בברכות זקוקים לחמצן הנקלט מהמים.	אוורור הקרקע על ידי הוספת חומר אורגני ועיבוד בשיטות מכניות. ערבול מי הברכות.
הקטנת פעילות מתחרים	חרקים, נברנים, ציפורים, עטלפים, צבאים, תנים וזאבים מתחרים עם החקלאי על היבול. השדה החקלאי המושקה והמדושן מביא גם לגידולם של עשבים שוטים.	"מחזור גידולים", כיסוי מטעים ברשתות, פיזור פתיונות רעל, גידור מטעים, הפחדת בעלי חיים על ידי הרעשה והצבת דחלילים, אספקת מזון חלופי לעופות נודדים. הדברה כימית וביולוגית של חרקים ועשבים.
גורמי מחלות	צמחים ובעלי חיים נתקפים על ידי טפילים ומחלות הנגרמות על ידי וירוסים (נגיפים), חיידקים ופטריית.	"מחזור גידולים". תרופות, מניעה באמצעות חיסונים, חיטוי ועוד (בדומה לשיטות הנהוגות לטיפול במחלות של בני אדם). ריסוס בקוטלי פטריות וחרקים.
שטח זמין לגידולי החקלאות	לגידולי החקלאות נחוצים שטחי קרקע מתאימים הן מבחינת סוג הקרקע וטיבה והן מבחינת המבנה הטופוגרפי.	שינוי פני השטח והכשרתו על ידי הקמת טרסות וסיקול. גידול צמחים בשיטות הידרופוניות (ללא קרקע) ובמצעים מנותקים. גידול דגים בברכות ביבשה ובכלובים בים.



גידול תות שדה במצע מנותק



שקתות למים



חיפוי קרקע



ממטרה בשדה



**על מושגים: דשן כימי וזבל אורגני**

בקרקות חקלאיות המלאי הטבעי של היסודות המינרליים אינו מספיק, ולכן יש לספק לצמחים תוספת של יסודות מינרליים חיוניים לצמח. החקלאים נותנים את התוספת הזאת באמצעות דשנים כימיים וזבלים אורגניים.

**דשן כימי** הוא מלח או תרכובת אנאורגנית אחרת המספקת לצמח יסודות מינרליים במצב מסיס וקליט. היסודות שמוסיפים לקרקע דרך קבע הם חנקן, זרחן ואשלגן.

**זבל אורגני** מבוסס על תרכובות אורגניות שמקורן בשרידים של צמחים ובהפרשות של בעלי חיים. הזבל האורגני מתפרק בהדרגה ומשחרר לקרקע יסודות מינרליים. יתרון מרכזי של הזבל האורגני הוא יכולתו לשמש גם כמטייב קרקעות.

יתרונותיו של הזבל האורגני מייעלים את הדישון הכימי ולכן נוהגים לשלב דישון כימי עם זיבול אורגני.



**מרכיבי הקרקע** ראו בפרק ב טבלה ב-7.

**מעניין לדעת: מבט אל העבר**

**מחלת הכימסון של תפוחי האדמה באירלנד והשפעתה על ההיסטוריה של אירלנד ושל ארה"ב.**

בשנים 1845–1850 תקפה פטרייה את גידולי תפוחי האדמה באירלנד וגרמה להשמדתם. תושבי אירלנד ניזונו בעיקר מתפוחי אדמה ובעקבות השמדת היבול אוכלוסיית אירלנד קטנה ב־25%: מיליון איש מתו מרעב וממחלות שנגרמו בשל תת־תזונה ומיליון איש היגרו, בעיקר לארה"ב. כיום חיים בארה"ב אנשים רבים ממוצא אירי (יותר מאשר באירלנד).

**לואי פסטר והחיסון נגד כולירע**

החוקר הצרפתי פסטר (1822–1895) (שעל שמו נקרא תהליך פיסטור החלב) היה מעורב בחקר נושאים רבים שהטרידו את חקלאי צרפת בתקופתו. פסטר הצליח במחקריו לגלות את הגורם להחמצת היין ואת הדרך לחסן תרנגולות מפני מחלת הכולירע.

**"מעד יצא מתוק" – מייצור דינמיט לייצור דשן**

בתקופת מלחמת העולם הראשונה (1914–1918) פותח תהליך כימי לייצור אמוניה מהחנקן שבאוויר (על ידי פ. הבר). האמוניה הייתה דרושה לייצור חומר הנפץ דינמיט. אולם הפיתוח למטרות מלחמה הביא בעקבותיו לייצור תעשייתי של דשנים חנקניים לחקלאות וכיום כמות החנקן המקובעת בתהליכים תעשייתיים גדולה מזו המקובעת בתהליכים ביולוגיים.

**עקרון 2: ויסות של תהליכי רבייה באמצעות ויסות מלאכותי של אותות סביבתיים.**

הגידולים החקלאיים, הן של צמחים והן של בעלי חיים, מושגתים רובם על תהליכי הרבייה (**הפריחה, הביוץ, ההטלה והיחום**). מאחר שהגידולים החקלאיים טופחו והושבחו ממיני בר, הם מושפעים מאותם גורמים סביבתיים המשתנים עם חילופי העונות והמכונים את הרבייה בטבע, כמו שעות האור והטמפרטורה. במהלך השנים למדו החקלאים להשפיע על תהליכי הרבייה באמצעות בקרה ושינוי של האותות הסביבתיים ועל ידי כך הם מצליחים לכוון את תהליכי הרבייה ומועדיהם על פי צורכיהם. למשל: כאשר מווסתים את שעות ההארה בחממה, אפשר לכוון את מועד הפריחה ולקבל שפע של פרחים בדיוק לקראת חגים, המועד שבו גוברת הדרישה של הצרכנים לפרחים.

**מבט אל העבר: הקטעים** מדגישים את הקשר ההדוק שבין אירועים היסטוריים לבין החקלאות.



**מחזור החנקן** ראו בפרק ג.



**אור כאות סביבתי** ראו בפרק ב סעיף 33.

מהו הבסיס הביולוגי לזיוסות תהליכי הרבייה?



תזמון תהליכי הרבייה בטבע קשור בעונתיות. תהליכים אלו מתרחשים בעונה הנוחה לגידול הצאצאים בתנאים המבטיחים את הישרדותו של דור הצאצאים. הכללה זו נכונה הן לצמחים והן לבעלי החיים בטבע: שפעת הפריחה באביב בארצנו וציוצי הציפורים המקננות הם עדויות לכך. אחד האמצעים העיקריים שבידי החקלאי לבקרה על תהליכי הרבייה הוא שינוי היחס בין שעות האור לבין שעות החושך. לצמחים רבים יש תגובה פוטופריודית: הם רגישים ליחס שבין שעות האור לבין שעות החושך ופורחים רק בתנאים מסוימים (ראו עמוד 53).

עיקרון דומה פועל גם בוויסות ההטלה בתרנגולות. כאשר מאירים את הלולים בלילה, גדלה כמות הביצים המוטלת. שינוי שעות ההארה משפיע על הורמונים המופרשים במוח ואלה גורמים להפרשת הורמוני רבייה המשפיעים על השחלה ומביאים להטלת ביצים.

עקרון 3: התערבות האדם במידע גנטי: טיפוח והשבחה באמצעות ברירה מלאכותית והנדסה גנטית.



חיטת בר (שיבולת מתפרקת) וחיטה תרבותית

מראשית ימיה של החקלאות ניסו החקלאים לשפר את איכות היבולים ואת כמותם. השיטה שהייתה נפוצה במשך שנים רבות הייתה הברירה המלאכותית. בשיטה זו בורר המגדל את הפרטים בעלי התכונות המועילות לו ומכליא ביניהם. כך במשך דורות רבים של בירור והכלאה מכוונת התקבלו זנים השונים מאבותיהם, זני הבר. בדרך זו התקבלה חיטה ששיבולתה אינה מתפרקת בניגוד לשיבולת של חיטת הבר, התקבלו פרות המניבות חלב רב, זני בננה חסרי זרעים וזני פירות מתוקים וגדולים. חשוב לציין כי הברירה המלאכותית מתבססת על השונות הגנטית הקיימת ממילא בין פרטים שונים באותה אוכלוסייה. השונות הזו היא "חומר הגלם" לברירה המלאכותית בדיוק כפי שהיא "חומר הגלם" לברירה הטבעית. הברירה המלאכותית שונה מהברירה הטבעית, מכיוון שהיא משתמשת בהכלאות במוטנטים שאינם יכולים

לשרוד בטבע (כדוגמת פירות חסרי זרעים, כמו בננה ואננס) ותוצריה - זני התרבות - אינם מותאמים לחיים בטבע. זני התרבות לא יישרדו בתנאים טבעיים, אלא רק "תחת חסותו" של המגדל.

על מושגים: אקלום בחקלאות

השימוש במושג **אקלום** כיישום חקלאי מקבל משמעויות שונות ואינו עקבי, כפי שניתן לראות מהדוגמאות הבאות:  
 1. תהליכי אקלום החלים במהלך החיים של הפרט הם הדרגתיים (חשיפת הצמח בהדרגה לדרגות משתנות של חום, קור יובש או עצמת אור), בעקבותיו הופך הצמח לעמיד יותר. אקלום מבטא יכולת **הסתגלות**, משום שעמידות זו מוגבלת לטווח אופייני שנקבע על ידי המטען התורשתי של הפרט.

עוד על **הסתגלות** ראו בפרק א.

2. גידול זנים שהובאו לישראל מארצות שונות (למשל מנגו, אבוקדו) ב"גן אקלום" ובחינת התאמתם לגידול בתנאי הארץ. לאחר זמן ניתן לבחור מבין הזנים שהובאו את אלה המתאימים ביותר לגידול בתנאי הארץ. עוד דוגמה לצמח שאוקלם בהצלחה בארץ: חיטה רכה (חיטת הלחם) שמוצאה מאוסטרליה.

3. אקלום הנמשך שנים ודורות רבים הוא למעשה תהליך של ברירה מלאכותית הנעשית על ידי החקלאי.



פרות שאוקלמו בארץ: אבוקדו, מנגו וליצ'י

### מעניין לדעת: איך מקבלים פרחים עם עלי כותרת רבים?

מגדלי פרחים מצליחים לטפח זנים של פרחים עם הרבה מאוד עלי כותרת באמצעות הוספת רעל דווקא. הרעל משבש את חלוקת התאים (מיטוזה) ויוצר תאים שיש להם יותר משתי כפולות (2N) של מטען תורשתי – תאים פוליפלואידים.



נורית תרבותית

### שאלה ז-2 תשובה בעמוד מ-55

הסבירו מדוע תוצרי הברירה המלאכותית אינם מותאמים לחיים בטבע.

עם התפתחות השיטות של ההנדסה הגנטית נפתח ערוץ נוסף להתערבות האדם בגידולים. ההנדסה הגנטית מאפשרת להעביר מידע תורשתי ממין אחד (למשל חיידק) למין אחר הרחוק ממנו (למשל צמח) (טבלה ז-2). מעבר כזה לא ייתכן שיקרה בטבע. ההנדסה הגנטית "עוקפת" את האקראיות המאפיינת את הופעת התכונות בזני הבר, והיא משנה בצורה מכוונת ונקודתית (שאינה אפשרית בטבע) את המידע התורשתי של חיידקים, צמחים ובעלי חיים. הנדסה גנטית גם מאפשרת למגדל להשיג את מטרותיו בתוך זמן קצר הרבה יותר מזה הנדרש בתהליכי הטיפוח וההשבחה בדרך הברירה המלאכותית.

האפשרות להכליא בין מינים סותרת לכאורה את ההגדרה המקובלת של מין (פרק 1). הכלאות בין מינים אינן נפוצות בטבע אך הן אפשריות בחקלאות.

טבלה ז-2: דוגמאות לשימוש בהנדסה גנטית בחקלאות (כמה מהנושאים עדיין נחקרים ואינם מיושמים)

התועלת לגידול החקלאי ולאדם	השינוי נעשה ב...	מקור המידע התורשתי	התכונה ששונתה / שהוקנתה באמצעות ההנדסה הגנטית
אפשרות לרסס בחומר שאינו פוגע בגידול החקלאי אלא רק במתחרה, למשל, עלקת.	צמחי טבק ודגנים שונים	חיידק סלמונלה העמיד לחומר הקוטל עשבים.	עמידות לחומרים הקוטלים עשבי בר
גידול בעונה שבה הטמפרטורה נמוכה, חיסכון בעלויות הכרוכות בהגנה מפני קור.	דגי סלמון, דגי אמנון	דגים החיים בקוטב	עמידות לעקה סביבתית
הגדלת יבולים, שימוש מופחת בהדברה הכימית.	צמחי כותנה, טבק, עגבניות, תפוחי אדמה, תירס, קנה סוכר, אורז	חיידק בצילוס טורנינגיאנסיס המייצר רעלן הפוגע בזחלי חרקים	עמידות למזיקים
שיקום הענף החקלאי השני בגודלו בהוואי.	עצי פפאיה	וירוס הגורם למחלה	עמידות לגורמי מחלות
שיפור מרכיב התזונה באוכלוסיות הניזונות בעיקר מאורז ומניעת עיוורון. אספקה של חומצות אמינו החיוניות לאדם.	אורז (אורז זהוב), ודגנים חסרי ליזין	נרקיסים, חיידקים, סויה	ייצור בטא קרוטן (חומר מוצא לוויטמין A) וליזין
הארכת משך חיי המדף של עגבניות.	עגבניות	בעל חיים	עיכוב של גן לפירוק דפנות תאים הפועל בעת ההבשלה

לצד ההיבטים הרפואיים והסביבתיים והפוטנציאל הרב להגדלת ייצור מזון ואיכותו זוכה ההנדסה הגנטית גם לביקורת והיא מעוררת חששות בקרב הציבור. אחד החששות הוא מפני תופעות לוואי שעלולות להיגרם, למשל תגובה אלרגית העלולה להתפתח אצל אנשים בהשפעת החלבונים ה"חדשים" הנמצאים ביצורים המהונדסים המשמשים כמזון.

האקולוגים מתריעים מפני סכנה אחרת: החשש שהמינים המהונדסים יהפכו למינים פולשים, אם ישתחררו לסביבה הטבעית ויתרבו בה, או יאביקו מיני בר וכך יעבירו (יורישו) תכונות חדשות למיני הבר. נושאים אלה נחקרים בשנים האחרונות.

חשש נוסף (שאמנם אינו קשור לחקלאות) הוא שהזנים המהונדסים ינוצלו כאמצעי בלוחמה ביולוגית (טרור ביולוגי).

**עקרון 4: בקרה של תהליכי התפתחות, הבשלה והזדקנות**

אספקת התוצרת של המשק החקלאי לאוכלוסייה הופכת בעידן המודרני למשימה מורכבת: המרחק בין אתרי הייצור לבין הצרכנים גדול וכך גם הזמן שבין הבשלת הפרי או הטלת הביצים לבין מועד קנייתם במרכול. גם כאשר מגיע המוצר לבית הצרכן יש עניין לשמר לזמן מה. מכל אלה נובע שיש צורך לעכב את התהליכים הטבעיים (למשל: נביטה, התפתחות ניצנים, הבשלה והזדקנות) ואת פעילותם של מפרקים למיניהם (חיידקים ופטריות). השיטות העיקריות לאחסון ושימור תוצרת חקלאית מוצגות בטבלה ז-3.

טבלה ז-3: שיטות לאחסון ושימור תוצרת חקלאית, מטרותיהן והבסיס הביולוגי שלהן

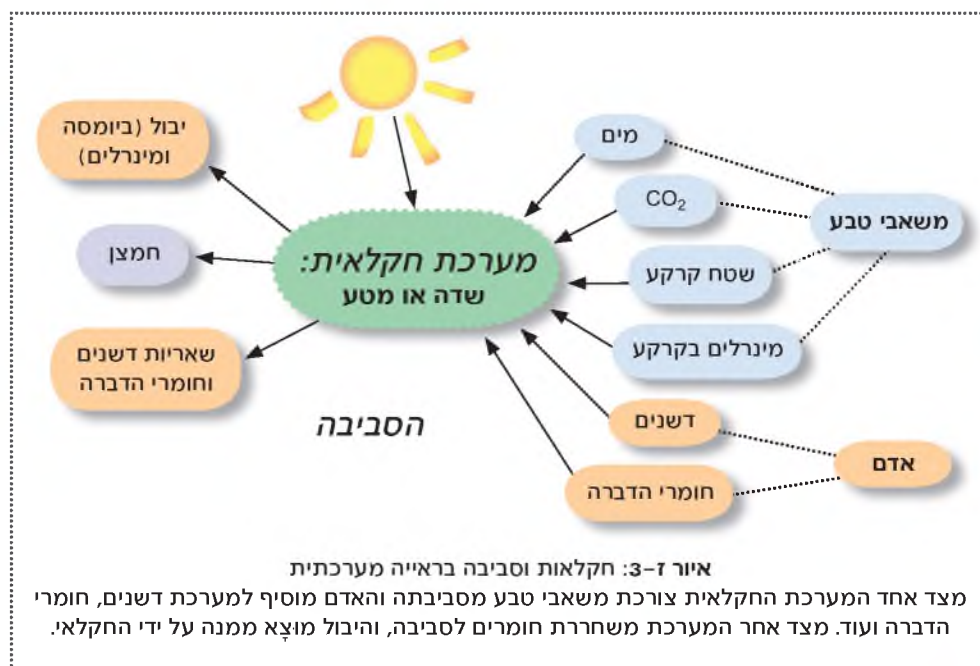
מטרת הפעולה	שיטות עיקריות	בסיס ביולוגי
האטת/מניעת פעילות מיקרואורגניזמים (מפרקים) הגורמים לריקבון	הרתחה, פסטור מוצרי חלב, החמצה/כבישה של ירקות, ייבוש פירות, שמירה בקירור (מוצרי חלב, ביצים, בשר), אריזה בואקום, הנדסה גנטית (עיכוב גן הגורם להבשלה).	מיקרואורגניזמים נמצאים בכל מקום סביבנו ולהתרבותם הם זקוקים למים, טמפרטורה מתאימה וחמצן.
הכוונת הבשלה בפירות שנקטפו טרם הבשלתם	שמירה בחדרי קירור, הבחלה באמצעות אתילן (בננות) או בחדרים חסרי חמצן (אפרסמון).	בפרי שנקטף מתרחשים תהליכים הגורמים להבשלה או ריקבון.
מניעת התעוררות ניצנים ולבלוב בירקות (תפוח אדמה, בצל ושום)	קרינה ושמירה בסביבה יבשה וחשוכה.	קרינה פוגעת בתאים ובחומר התורשתי. התעוררות ניצנים ולבלוב מושפעים מאור.
מניעת נביטה בזרעים המשמשים למאכל (חיטה, בוטנים, קטניות)	שמירה על סביבה יבשה וחשוכה בטמפרטורה נמוכה.	זרעים זקוקים לנביטתם למים ולטמפרטורה מתאימה. יש זרעים הזקוקים לאור לנביטה.
מניעת התפתחות חרקים (קמח, זרעי קטניות)	שמירה בטמפרטורה נמוכה	בקיעת חרקים מביצים והתפתחות הזחלים תלויות בטמפרטורה.

**אתילן והבשלת פירות:** הגז אתילן הוא הורמון צמחי (מווסת צמיחה) המזרז הבשלת פירות. ישנם פירות כגון תמר שבסביבה של קור וחוסר חמצן מייצרים אתנול וכך מבשילים.



**4.1 החקלאות והסביבה בראייה מערכתית**

יש הרואים בהשפעות שיש לפעילות החקלאית על הסביבה מעין "רעה בלתי נמנעת" הפוגעת בטבע. הייצור החקלאי לא רק שהוא צורך משאבים טבעיים מהסביבה שגם המערכות האקולוגיות הטבעיות זקוקות להם, אלא שהוא גם כרוך בשחרור של חומרים לסביבה, כמו שאריות דשנים וחומרי הדברה והפרשות של בעלי חיים. אחדים מהחומרים הנכנסים או המוספים למערכת החקלאית והמוצאים ממנה מוצגים באיור ז-3.



יבול המוצא מהשדה

### שאלה 2-3 תשובה בעמוד מ-56



- א. במה שונה מערכת אקולוגית טבעית ממערכת חקלאית? הסבירו על פי איור 2-3.  
 ב. סרטטו מערכת דומה לזו המוצגת באיור 2-3 המתאימה לרפת או ללול של תרנגולות מטילות ביצים או לכלובי הדגים בים סוף.

## חקלאות בת־קיימא: מוצרים, שירותים וסביבה בריאה להיום וגם למחר

בשנים האחרונות גוברת המודעות לצורך לצמצם את השפעת בני האדם על הסביבה. לחקלאות מקום נכבד במאמצים אלה. מחשבה ואמצעים רבים מושקעים בפיתוח **חקלאות בת־קיימא**. חקלאות בת־קיימא מבוססת על הבנה טובה יותר של השפעות החקלאות על המערכות האקולוגיות ויישום מושכל של הטכנולוגיה החקלאית. חקלאות בת־קיימא מספקת את צורכי הדור הקיים וגם מבטיחה שצורכי הדורות בעתיד לא ייפגעו הן בתחום המזון והן בתחום **שירותים ומוצרים** אחרים של המערכת האקולוגית. בחקלאות בת־קיימא מנסים לשמור על מאזן בין פגיעה בתפקודים של המערכת האקולוגית לבין תועלות המתקבלות ממנה עקב הפיכתה למערכת חקלאית.

במסגרת המדיניות של חקלאות בת־קיימא ננקטות פעולות בשלושה תחומים עיקריים:

- צמצום הניצול של משאבי הטבע
  - צמצום השחרור לטבע של עודפי דשנים, חומרי הדברה ופסולת (מוצקה ונוזלית)
  - הגברה של המחזור והשימוש החוזר במים ובפסולת אורגנית.
- המים הם המשאב הטבעי העיקרי בחקלאות וניצול לא מבוקר שלו עשוי לפגוע בסביבה הטבעית. הטיית נחלים והפניית מימיהם לחקלאות מקטינות את הזרימה בנחלים ופוגעות במערכת האקולוגית של הנחל. שאיבת יתר של מים מארות וממעינות פוגעת במאגרי המים התת־קרקעיים.



נחל הירקון, כמו נחלים רבים אחרים, סובל מידי פעם מזיהומים שונים

מערכות השקיה בטפטוף הן פרי המצאה הישראלית. החיסרון שלהן הוא העלות הגבוהה והצורך בתחזוקה למניעת סתימה של פתחי הטפטוף. ישראל היא "אלופת העולם" בשימוש במי קולחין בחקלאות. מותר להשתמש במי קולחין לגידול כותנה אך השימוש בהם אסור לגידול ירקות ופירות.



הדברת נברנים באמצעות תנשמות ראו בפרק ד.



השפעת האדם על המגוון הביולוגי ראו בפרק ז.



חיפושית נוביוס

מעניין לדעת: הקצאת מים לשיקום נחלים

רוב הנחלים בישראל כבר נפגעו קשות מניצול יתר של המים. בשנת 2003 החליטה ממשלת ישראל להקצות יותר ממיליון מטרים מעוקבים (!) של מים שפירים בשנה לשיקום מעלה נחל הירקון. בכך מתבטאת הכרתה של החברה בחשיבות שיקום הנחלים ובצורך להקצות משאבים למטרה זו. הקצאה זו היא חלק מתכנית רחבת ידיים, ובתקציב של 85 מיליון שקלים המיועדת לשיקום נחל הירקון, גדותיו וסביבתו.

הדרכים העיקריות לצמצום ניצול יתר של משאב המים ולניהול מושכל של משק המים הן:

- טיהור מי ביוב ושימוש במי הקולחין בחקלאות. מי הקולחין המטוהרים במכונים לטיהור מים אינם ראויים לשתיה לבני אדם (בניגוד למים שפירים), אך הם מתאימים להשקיית גידולים מסוימים כמו כותנה. שימוש במי קולחין להשקיית גידולים מחזיר מים למחזור המים המקומי.
- אגירת מי גשמים בברכות להשקיה או להחדרה למי התהום.
- מעבר לגידולים הצורכים פחות מים, כגון זיתים ותמרים ושימוש בצמחי נוי "חסכניים" במים כמו: קליסטמון, אקליפטוס שזור, גרווילאה.
- השקיה באמצעות טפטפות מקטינה את צריכת המים בהשוואה להשקיה בממטרות: בהשקיה בטפטוף רוב המים מגיעים לייעדם ואינם מתפזרים ברוח או מתאדים באוויר. השקיה נכונה ואופטימלית יכולה למנוע גם את המלחת הקרקע. עלייה במליחות הקרקע עקב ממשק השקיה לקוי אירעה בעבר בשדות בעמק יזרעאל.

אחת הבעיות של החקלאים היא התחרות בין החקלאי לבין הגורמים הביוטיים (טבלה ז-1). שדה חקלאי, מטע או ברכת דגים הם מקור מזון מרוכז, זמין ועשיר ליצורים שונים. למשל: העופות הנודדים החולפים בישראל באביב ובסתיו אוכלים את גידולי הבוטנים בעמק החולה ואת דגי הבריכות בעמק הירדן ובמישור החוף; החרקים ניזונים מהעלים הטריים של גידולי הכותנה והירקות. גם יונקים – נברנים, צבאים, תנים, זאבים – מתחרים עם המגדל וצרכני המזון על היבולים ועל חיות המשק ו"נוגסים" בהם. אמנם החקלאי נוקט אמצעי הגנה שונים כדי לצמצם את הפגיעה ביבולים, אלא שלעיתים נפגעים גם יצורים שאינם מזיקים. השימוש ברעלים להדברת נברנים גרם במרוצת השנים להקטנה של אוכלוסיית העופות הדורסים הניזונים מהנברנים עד כדי סכנת הכחדה של עופות אלו.

צמצום השימוש בחומרי ההדברה התעשייתיים והקטנת הנזק מהם ליצורים בטבע נעשה בעיקר על ידי אימוץ שיטות של הדברה ביולוגית. הדברה ביולוגית מבוססת לרוב על שימוש באורגניזם שהוא האויב הטבעי (טורף או טפיל) של המזיק. ידועים מקרים שבהם ההדברה הביולוגית מצליחה מאוד והיא מהווה חלופה להדברה כימית. עם זאת ראוי לזכור שהכנסת יצור "חדש" – המדביר הביולוגי – יכולה לשנות יחסי גומלין אחרים והמדביר יכול להפוך למין פולש ומזיק בעצמו.

דוגמה להדברה ביולוגית: בתחילת המאה ה-20 נפגעו הפרדסים בארץ מכנימה בשם איצריה שגרמה נזק לעלים של עצי ההדר וגרמה למותם. בעקבות כך נשרו העלים מהעצים והיבול פחת. ה"תרופה" לבעיית האיצריה נמצאה בקליפורניה שבארצות הברית. משם הובאה לארץ חיפושית בשם נוביוס שמטילה את ביציה בתוך שק הביצים של האיצריה.

זחלי החיפושית טורפים את ביצי האיצריה ואת הזחלים ביעילות רבה. החדרת חיפושית הנוביוס לפרדסים צמצמה מאוד את הנזק שנגרם על ידי האיצריה.

דוגמה אחרת היא לוחמה ביולוגית בחרקים על ידי עיקור זכרים במעבדה ושחרורם לטבע. הימצאותם של זכרים עקרים רבים מפחיתה את הסיכוי של נקבות פוריות למצוא זכר פורה, וכך מצטמצמת אוכלוסיית המזיק. בשיטה אחרת לוכדים את הזכרים במלכודות שבתוכן חומר ריחני שמופרש על ידי הנקבה המושך את הזכרים (פרומון) ומשמש כפיתיון. עוד שיטה הנהוגה בחקלאות בת־קיימא היא **הדברה המשולבת** המבוססת על שימוש מרבי בהדברה ביולוגית ושימוש מזערי בחומרי הדברה כימיים. השימוש בכל אחת מהדרכים נעשה בצורה ובעיתוי שלא יסבו נזק לאויביהם הטבעיים של המזיקים.

### מעניין לדעת: הדברה משולבת בתות שדה

המזיק העיקרי של תות השדה הוא כנימת העלה. מגדלי התותים מפזרים צרעות זעירות שכל אחת מהן מזריקה את ביציה למאות כנימות. הזחלים מתפתחים "על חשבון" הכנימה וגורמים למותה. לעיתים יש צורך "להשלים את העבודה" בעזרת כמות קטנה של חומר כימי.

### שאלה ז-4 תשובה בעמוד מ-56

- מהם יתרונותיה של הדברה ביולוגית על פני שיטות הדברה אחרות?
- האם הדברה ביולוגית עלולה להשפיע באופן שלילי על המערכת האקולוגית? הסבירו.

הדברת מזיקים בקרקע נעשית לעתים באמצעות **חיטוי סולרי**: מכסים את הקרקע בריעות פוליאיתילן שקוף. קרינת השמש נבלעת בקרקע, הטמפרטורה בקרקע עולה מאוד והמזיקים מתים.

גם בתחום חומרי הפסולת האורגניים שהמערכת החקלאית משחררת לסביבה ניתן לנקוט אמצעים שיקטינו את כמותם ואת השפעותיהם.

הפרשות של בעלי חיים ברפתות ובלולים הן חומר אורגני שניתן להשתמש בו כדשן ולצמצם את הצורך בדשנים כימיים. כמויות גדולות של פסולת אורגנית (כולל אשפה ביתית) מנוצלות במתקנים מיוחדים להפקת גז המתאן המשמש כמקור אנרגיה. מתקן כזה פועל באתר חירייה ומספק אנרגיה למפעל תעשייתי סמוך.

הפסולת האורגנית של המשק החקלאי וכן האשפה הביתית יכולים לשמש ליצור **קומפוסט** שהוא מוצר מעובד המתקבל ממחזור פסולת אורגנית. הפסולת האורגנית מפורקת על ידי מיקרואורגניזמים בנוכחות חמצן. הקומפוסט משמש להספקת יסודות מינרלים לצמחים, לטיוב קרקעות וכתוסף למצע גידול בחממות. הכנת קומפוסט מבוססת על אורגניזמים מפרקים ועל תהליכים טבעיים במערכת האקולוגית. מחזור פסולת אורגנית משיב יסודות (חנקן, זרחן ועוד) למחזורי החומרים.

### ייצור חשמל משפכי רפתות

בעמק חפר הוקם מתקן מסחרי לייצור חשמל מזבל פרות. המתקן יטפל ב־600 טון של צואת פרות ביום. שפכים גולמיים של כ־12,000 פרות מ־22 רפתות באזור השרון יוסעו למכון בו הם יעברו תהליך פירוק אנארובי. בתהליך ייוצר גז מתאן הנחשב לדלק נקי ביותר. הגז ייאסף וינוצל לייצור חשמל ושאריות החומר האורגני (הבוצה) יטופלו וייצרו מהם דשן אורגני. (2007)

מעניין לדעת: "חקלאות מדויקת"

ב"חקלאות מדויקת" מכוונים את זמני הדישון וההשקיה על פי מחזור החיים של הצמח ולפי צרכיו הפיזיולוגיים. ההשקיה יכולה להשתנות מאזור לאזור בשדה, בהתאם למדידות הנאספות על ידי חיישנים, ומועברות למסד נתונים מרכזי. שם המידע מעובד ומועבר אוטומטית למערכת ההשקיה באזורים השונים בשדה. זמני הדישון, למשל נקבעים על פי השלב במחזור החיים של הגידולים, אשר נמדד אף הוא על ידי חיישנים בשדה.



משמש יבש לא-אורגני



משמש יבש אורגני

המודעות של צרכני התוצרת החקלאית לנזקים בריאותיים העלולים להיגרם מהחומרים המשמשים לדישון ולהדברה הגבירה את הדרישה למוצרים של **חקלאות אורגנית**, כלומר מוצרים שאינם חשופים במהלך גידולם לחומרי הדברה ולדשנים כימיים. מבחינת החקלאי והצרכנים עלות גידולם של מוצרים בשיטות של חקלאות אורגנית היא גבוהה יותר, שכן היבול ליחידת שטח קטן יותר (עקב חוסר בדישון ותחרות עם יצורים אחרים) ומשך חיי המדף של המוצרים קצר יותר. המוצרים האורגניים גם פחות מושכים את העין, ורק קהל צרכנים מצומצם שמודע ליתרונותיהם מוכן לשאת במחירם הגבוה. בישראל (2007) מגדלים גידולים אורגניים בשטח של כ-58 אלף דונם שהם כ-2% מכלל שטחי החקלאות.

5.2 היבטים אתיים של הטכנולוגיה החקלאית



צפיפות בלול לפיטום תרנגולות



תרנגולות בחצר

מהנאמר עד כה ברור שהפעילות החקלאית משפיעה על הטבע שסביבנו. המציאות הזו מעוררת לא אחת דילמות קשות: איך לספק מזון, מוצרים ושירותים לבני האדם המתרבים תוך פגיעה מזערית בתפקודי המערכת האקולוגית וביצורים האחרים החולקים עמנו את כדור הארץ? הפתרון לשאלה הזו מורכב ביותר, והוא שונה באזורים שונים של העולם. לעתים לא ניתן להגיע לפתרון מניח את הדעת בגלל היעדר ידע ובשל אינטרסים כלכליים וחברתיים. בינתיים הפגיעה בטבע נמשכת בד בבד עם הגידול באוכלוסייה.

יתר על כן, יש דילמות אתיות הנובעות מיישום טכנולוגיות שונות בחקלאות שניתן כבר היום לתת עליהן את הדעת ולהתמודד אתן. למשל, בשנת 2006 הופעל בישראל חוק האוסר פיטום אכזרי של אווזים. הפיטום נועד לגדל אווז שהכבד שלו גדול מאוד (כבד האווז נחשב במסעדות למאכל יוקרה מבוקש). מצד אחד אלו שפעלו למען החוק הצביעו על הסבל הנגרם לאווז משיטת הפיטום באמצעות החדרת צינור מתכת לקיבה ומהפגיעה בבריאותו. מצד אחר חוק זה פוגע בפרנסת המגדלים ובאורח חייהם והם יאלצו לעבור לגדל גידולים אחרים, וייתכן שרמת חייהם תיפגע.

גם גידול תרנגולות לפיטום בלולים צפופים וגידול מטילות בסוללות מעורר התנגדות בשל תנאי הגידול שיש הסוברים שהם גורמים סבל לתרנגולות. הסוללות מקילות מאוד על איסוף הביצים ועל הזנת התרנגולות. כיום ניתן למצוא בחנויות "ביצי חופש" המוטלות על ידי תרנגולות שאינן כלואות בכלובים.





■ סיכום הפרק

1. החקלאות היא פעילות עיקרית של מעורבות האדם בטבע. היא משפיעה על גורמים ביוטיים, על גורמים א־ביוטיים, על יחסי הגומלין ועל מגוון המינים במערכת האקולוגית.
2. קצב הגידול הגבוה של האוכלוסייה בד בבד עם הדרישה הגדלה למזון הביאו לפיתוח שיטות וטכנולוגיות המייעלות ומגבירות את הייצור החקלאי.
3. החקלאות מספקת מזון למספרם הגדל והולך של בני אדם ושל בעלי חיים וכמו כן גם תוצרים ושירותים שונים לרווחת האדם.
4. התפתחות החקלאות מאפשרת מצד אחד צמצום שטחי הקרקע הנדרשים לגידול מזונותיו של אדם ומצד אחר שימוש בשטחי קרקע שנחשבו בעבר ל"לא פוריים" וכך להגדיל גידול של ממש את הכמות הכללית של המזון המיוצר.
5. ייעול הייצור החקלאי והגברתו מבוססים על כמה עקרונות:
  - א. הקטנת ההשפעה של גורמים מגבילים, למשל: גידול בחממות שבהן יש בקרה על טמפרטורה, עוצמת האור, כמות ואופן ההשקיה, אספקה של דשנים ועוד.
  - ב. ויסות מלאכותי של אותות סביבתיים, כמו היחס בין שעות האור לבין שעות החושך המשפיע על תהליכי רבייה.
  - ג. טיפוח והשבחת זנים על ידי ברירה מלאכותית ועל ידי הנדסה גנטית.
  - ד. בקרה של תהליכי התפתחות, הבשלה והזדקנות.
6. חקלאות בת־קיימא מבוססת על הבנת המערכת האקולוגית ובדיקה של השפעות החקלאות עליה. יישום מושכל של הטכנולוגיה החקלאית יספק את הצרכים של הדור הזה תוך שמירה על המערכת האקולוגית למען הדורות הבאים.
7. דוגמאות לאסטרטגיות של חקלאות בת־קיימא:
  - שיפור הניצול של מים על ידי השקיה בטפטוף, שימוש במים מושבים ותזמון מדויק של ההשקיה בהתאם לדרישות הגידול ומחזור החיים של הצמח.
  - שיפור פוריות הקרקע באמצעות: מחזור גידולים, גידולים מעורבים וטיוב הקרקע תוך מחזור פסולת חקלאית.
  - צמצום כמות הרעלים הנדרשים להדברה של עשבים שוטים, מזיקים ומחלות על ידי בקרה ביולוגית והנדסה גנטית.
  - צמצום חומרי הדשן התעשייתיים על ידי הגברת השימוש בהפרשות בעלי חיים כדשן.

■ מושגים חשובים

חקלאות	ביות
חקלאות אורגנית	ברירה מלאכותית
חקלאות אינטנסיבית	גורם מגביל
חקלאות בת־קיימא	דשן
מחזור גידולים	הדברה ביולוגית
מי קולחין	הדברה כימית
מים שפירים	הדברה משולבת
פוטופריודיות	הנדסה גנטית
פסולת חקלאית, מיחזור	השקיה, שיטות
קומפוסט	חיטוי סולרי
תירות חקלאית	חנקן, קיבוע

# נספח מושגי יסוד



## נספח: מושגי יסוד

בלימוד האקולוגיה פוגשים מושגים רבים שמקצתם מוכרים וידועים לכם מלימודים קודמים. בנספח זה נדון בכמה מושגים חשובים המופיעים במהלך לימוד הפרקים השונים באקולוגיה. מוצע לקרוא נספח זה לפני הפרקים האחרים, וכן לחזור ולעיין בו תוך כדי לימוד החומר.

### 1. על חומרים, תרכובות, יסודות ויונים

אחד הנושאים שהאקולוגיה עוסקת בהם הוא החומרים ודרכי מחזורם בטבע.

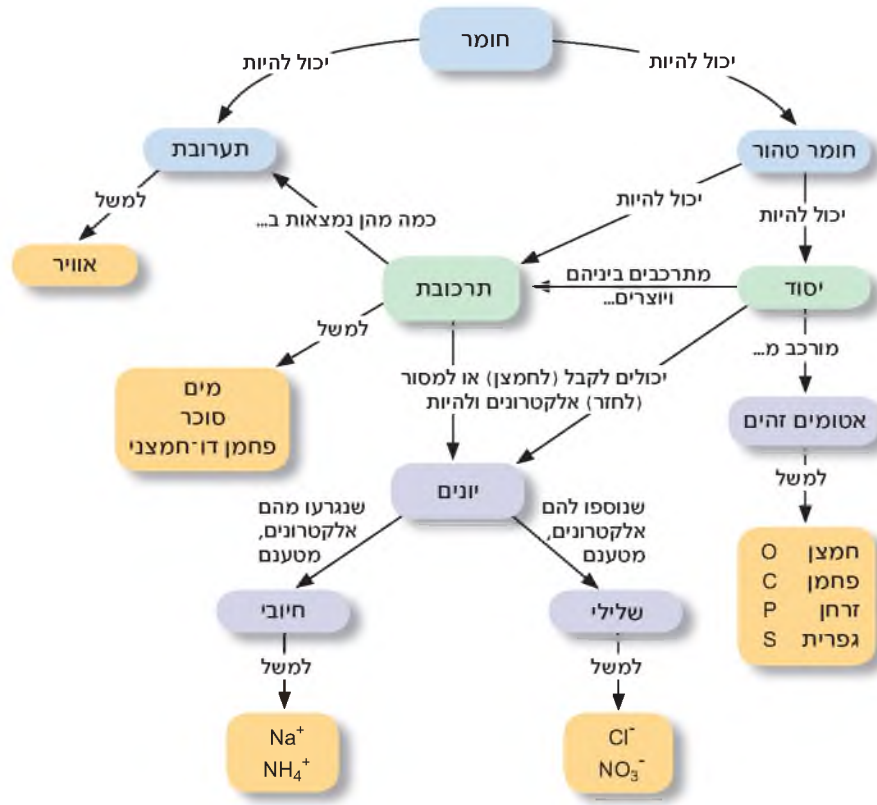
למה מתכוונים כאשר אנו משתמשים במושג חומר?



פחמן הוא חומר, וגם מים הם חומר, אך יש הבדל מהותי ביניהם. מבחינה כימית הפחמן הוא יסוד, והמים הם תרכובת של שני יסודות: חמצן ומימן. יסודות ותרכובות הם חומרים "טהורים" שיש להם תכונות קבועות ללא תלות בכמות החומר. לעומת זאת באוויר יש חמצן, אך האוויר אינו יסוד ואינו תרכובת אלא תערובת של חומרים: חמצן (כ-20%), חנקן (כ-79%),  $\text{CO}_2$  (כ-0.04%) וגזים אחרים בכמות קטנה. "אבני הבניין" של היסודות הם האטומים. לכל אטום ביסוד יש כמה מרכיבים:

- אלקטרונים נושאי מטען חשמלי שלילי
- פרוטונים נושאי מטען חשמלי חיובי
- נויטרונים חסרי מטען חשמלי

בנוסף לאלה יש באטום עוד חלקיקים שבהם לא נעסוק כאן. תכונותיהם הכימיות של היסודות ונטייתם ליצור תרכובות עם יסודות אחרים, תלויות במבנה האטום. האטומים למיניהם יכולים למסור אלקטרון לאטום אחר ולחזר אותו (ולהתחמצן בעצמם!), או לקבל אלקטרון – לחמצן (ולהתחזר בעצמם!); וכתוצאה מכך מתקבלים יונים בעלי מטען חשמלי. המטען החשמלי של היון נקבע על פי מספר האלקטרונים החסרים לו או הנוספים לו. יון של כלור ( $\text{Cl}^-$ ) הוא בעל מטען חשמלי שלילי שערכו 1-, משום שיש לו אלקטרון אחד נוסף. יון האמוניום ( $\text{NH}_4^+$ ) הוא בעל מטען חיובי, משום שחסר לו אלקטרון אחד. כאשר דנים במחזור הפחמן היסוד פחמן הוא במרכז ההתעניינות, אם כי ברוב שלבי המחזור עוסקים בתרכובות פחמן המכילות, בנוסף ליסוד פחמן, גם יסודות אחרים. מפת המושגים (איור נ-1) תסייע לכם להתמצא ב"סבך" המושגים הקשורים למושג "חומר".



איור נ-1: מפת מושגים של המושג "חומר"

### על מושגים: חמצון וחיזור

חמצון וחיזור הולכים "יד ביד", ולכן כאשר תרכובת מחמצנת תרכובת אחרת, היא בעצמה מתחזרת. חמצון וחיזור יכולים להתרחש באחת הדרכים הבאות: קבלת או הרחקת אלקטרון, קבלת או הרחקת חמצן, קבלת או הרחקת מימן (טבלה נ-1). שני תהליכים חשובים במערכת האקולוגית הם תהליכי חמצון-חיזור: פוטוסינתזה הוא תהליך של חיזור  $CO_2$  בעזרת המימן של מולקולת המים  $H_2O$ , ונשימה תאית היא תהליך של חמצון פחמימות שבו מימנים מורחקים ממולקולה אורגנית, מתקשרים לחמצן (מהאוויר) ונוצרים מים (מים מטבוליים).

טבלה נ-1: מה קורה בחמצון ובחיזור?

חומר מתחמצן ומחזר חומר אחר	חומר מתחמצן ומחזר חומר אחר
מוסר חמצן	מקבל חמצן
מקבל מימן	מוסר מימן
מקבל אלקטרון/אלקטרוני	מוסר אלקטרון/אלקטרוני



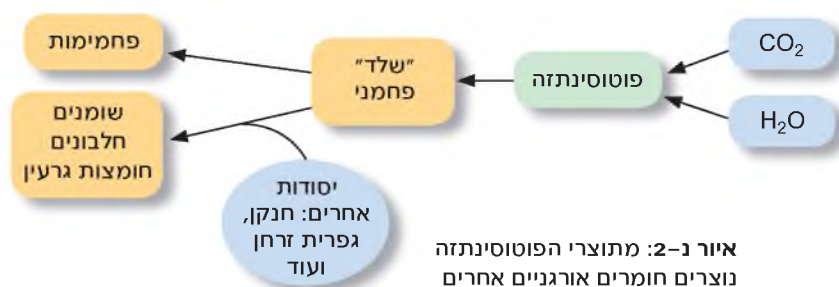
המחזור הוא זה שתמיד נותן את הפרחים... (e)

## 2. חומר אורגני

המושג **חומר אורגני** נקבע בתקופה שבה סברו, שישנם חומרים המיוצרים רק בגופם של אורגניזמים חיים, ואלה כונו בשם חומרים "אורגניים". כבר בשנת 1828 הרכיב הכימאי וולר (Wöhler) שתָּנַן מחומרים אנאורגניים במעבדה, ומאז סונתזו במעבדה עוד חומרים "אורגניים" רבים. כיום ברור כי על אף שחומרים אורגניים מסונתזים בטבע רק באמצעות פעולותיהם של אורגניזמים חיים, הרי שאפשר גם לסנתז חומרים אורגניים במעבדה, מחוץ לגוף החי. המדע העוסק בתרכובות אלה נקרא "כימיה אורגנית" וניתן לו עוד שם: "כימיה של תרכובות פחמן". רוב תרכובות הפחמן הן תרכובות אורגניות. בין תרכובות הפחמן **האנאורגניות** נציין את אלו: פחמן חד-חמצני (CO), פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>) חומצה פחמתית (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

מה מאפיין את התרכובות האורגניות?

### 1. תרכובות אורגניות הן תוצרים ישירים ועקיפים של תהליך הפוטוסינתזה



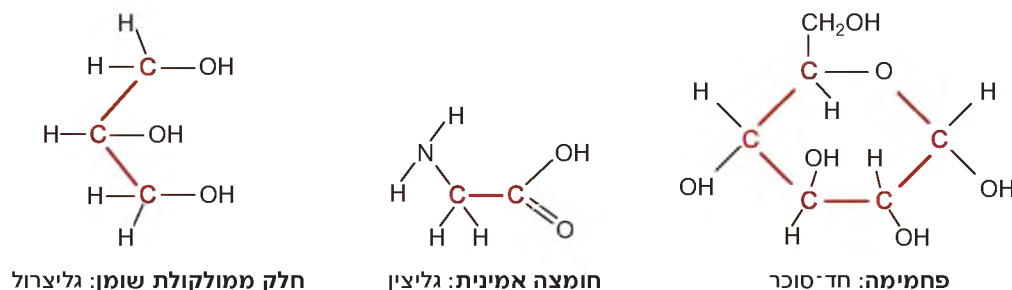
רוב החומרים האורגניים בטבע נוצרים בתהליך **הפוטוסינתזה** משתי תרכובות אנאורגניות: CO<sub>2</sub> ומים. הסוכרים הפשוטים, תוצרי הפוטוסינתזה, הם "שלד" פחמני שממנו נוצרים חומרים אורגניים אחרים כמו פחמימות, שומנים, חלבונים וחומצות גרעין (איור נ-2).

### 2. תרכובות אורגניות מכילות פרט לפחמן עוד יסודות

התרכובות האורגניות הנפוצות ביותר, ובהן הפחמימות, השומנים והחלבונים, מכילות (בנוסף לפחמן) גם מימן וחמצן. יש תרכובות אורגניות שיש בהן בנוסף לשלושה יסודות אלה גם יסודות אחרים: זרחן, חנקן, גפרית, ברזל, ומגנזיום. החומצות האמיניות הבונות את החלבונים מכילות חנקן.

### 3. תרכובות אורגניות הן רב-גוניות

אטום הפחמן יכול להתקשר ל-4 אטומים אחרים, מהם גם אטומים נוספים של פחמן. תכונה זו של אטום הפחמן מאפשרת יצירת שרשרות של אטומי פחמן באורכים שונים. שרשרות כאלה יכולות להסתעף בדרכים שונות, ומכאן הרב-גוניות הגדולה של התרכובות האורגניות (איור נ-3).



איור נ-3: נוסחאות מבנה של כמה חומרים אורגניים

4. תרכובות אורגניות הן מקור אנרגיה

תרכובות פחמן אורגניות הן מקור של אנרגיה כימית ליצורים החיים (ראו טבלה ג-1, עמוד 78).  
 חמצון תרכובות אורגניות בתאים בתהליך הנשימה התאית או התסיסה מספק אנרגיה כימית  
 זמינה (בצורת מולקולות ATP) לכל פעולות התא: סינתזה של חומרים, תנועה, העברת יונים  
 וחומרים בניגוד למפל הריכוזים, הפקת אור (בגחליליות), העברת גירוי בעצב ועוד.

3.3 מזון

המילה מזון מוכרת לכולנו במשמעות היום יומית שלה: זהו ה"דבר" שאנו מקבלים מסביבתנו,  
 קונים במרכול, אוכלים והוא משמש לגדילה ולהפקת אנרגיה.



במסגרת לימוד האקולוגיה נכלל מושג זה גם כחלק מהמושגים: שרשרת מזון ומארג מזון.  
 אפשר להגדיר את המושג "מזון" בשתי דרכים: הגדרה צרה והגדרה רחבה (איור נ-4).

הגדרה צרה	הגדרה רחבה
המזון הוא תרכובות פחמן אורגניות המשמשות כמקור לחומרים לבניית הגוף ולהפקת אנרגיה. (מינרלים).	המזון הוא כל החומרים המשמשים כמקור לחומרים לבניית הגוף ולהפקת אנרגיה: תרכובות אורגניות, מים, יסודות ותרכובות אנאורגניים (מינרלים).



איור נ-4: מה כלול בהגדרה הצרה (מסגרת פנימית) ובהגדרה הרחבה (המסגרת הפנימית והחיצונית)

### מהו המזון של הצמחים? האם המינרלים וה- $CO_2$ הם ה"מזון" של הצמח?



הצמח (וכמוהו חיידקים מסוימים) הוא אוטוטרופי, כלומר הוא מייצר בעצמו תרכובות פחמן אורגניות מפחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ) וממים שהוא קולט מסביבתו. נוהגים לומר ש"הצמח מייצר את מזונו". כמו כן ידוע שאפשר לגדל צמחים בתמיסה של מינרלים שונים הנקראת "תמיסת מזון". מהו אם כן ה"מזון" של צמחים?

ייחודם של הצמחים הוא בכך שהם מייצרים בעצמם את התרכובות האורגניות, אך קולטים את שאר החומרים מסביבתם. ומכאן נובע:

**על פי ההגדרה הצרה:** הצמחים ושאר האוטוטרופים מייצרים את מזונם.

**על פי ההגדרה הרחבה:** הצמחים ושאר האוטוטרופים מייצרים חלק מהמזון הדרוש להם (פחמימות) ואת שאר החומרים שהם זקוקים להם – מים ומינרלים – הם קולטים מהסביבה (איור ג-3, עמוד 76).

המושג "מזון" המופיע ב"שרשרת המזון" מתייחס לאורגניזם שלם או לחלק מאורגניזם הנאכל על ידי טורפו או מפורק על ידי המפרקים.

כדי למנוע בלבול אנו מתייחסים בספר זה למושג "מזון" במשמעותו הרחבה:  
**כלל החומרים המשמשים כמקור לחומרים לבניית הגוף ולהפקת אנרגיה.**

הבאנו כאן את המשמעויות השונות של המושג "מזון" כדי שתהיו ערים לכך שבספרים שונים ובהקשרים שונים אתם עשויים להיתקל במושג, וחשוב לברר בכל מקרה למה הכוונה: האם רק לחומרים האורגניים מספקי האנרגיה או לכלל החומרים שהאורגניזם זקוק להם? ואולי הכוונה לאורגניזם השלם או לחלק ממנו?

## 4. אנרגיה

המושג אנרגיה הוא מושג חשוב ביותר להבנת תהליכים בכל רמות הארגון בטבע, החל בתא וכלה במערכת האקולוגית. יחד עם זאת, קשה להסביר ולהבין מהי אנרגיה.

האורגניזמים זקוקים לאנרגיה לביצוע פעולות החיים השונות כגון:

- תנועה
- הרכבת חומרים ופירוקם
- העברת חומרים ממקום למקום בניגוד למפל הריכוזים
- הקרנת אור (למשל בגחליליות)
- העברת מסרים חשמליים בעצבים

### מהי אנרגיה?



למרות החשיבות הרבה של המושג אנרגיה לא הכול מסכימים על הדרך המתאימה להגדרתו ואפילו על הצורך להגדיר אותו.

למרות הקושי להגיע להגדרה מוסכמת אפשר להגדיר אנרגיה בדרך זו:

**אנרגיה היא תכונה של מערכת או של גוף חומרי (בדיוק כפי שמסה היא תכונה שלו) המבטאת את יכולתם לבצע עבודה בסביבה נתונה ו/או להעביר חום.**

אנרגיה היא גם תכונה של סוגי קרינה שונים, כמו קרינת האור המגיעה אלינו מן השמש. האנרגיה – משתנה כאשר מתרחש שינוי כלשהו, למשל, כאשר המים זורמים במפל, משתנה סוג האנרגיה שלהם. כמו כן, אם נרים ספר מהרצפה ונניח אותו על שולחן, נקנה לספר אנרגיה בהמשך נרחיב בהיבטים שונים של המושג אנרגיה כדי להבינו בהקשר של מערכות ביולוגיות.

## סוגים של אנרגיה

אחת הדרכים המסייעות להבנת מושג היא לארגן את הידוע לנו עליו בקטגוריות מוגדרות. שתי הקטגוריות העיקריות של אנרגיה הן אלו:

א. אנרגיה קינטית (=אנרגיית תנועה)

ב. אנרגיה פוטנציאלית

### ■ אנרגיה קינטית

אנרגיה קינטית היא תכונה של גוף בתנועה: מים זורמים במפל, מכונית נעה בכביש, אלקטרון נע בחוט נחושת או מולקולה של גז הנעה בחלל. בנוסף לתנועה של גופים גדולים, שקל לנו להבחין בה, גם חום ואור הם סוגים של אנרגיה קינטית. החום הוא ביטוי של תנודות המולקולות. האור נוצר על ידי תנודות של אלקטרונים באטום ובעקבותיהן נפלטים מהאטום "חלקיקי אור נושאי אנרגיה" – פוטונים (photon).

האנרגיה הקינטית מאפשרת, בתנאים מסוימים, לבצע עבודה, למשל: תנועת המים במפל מפעילה טורבינה להפקת חשמל, רוח (תנועת האוויר) מניעה טורבינת רוח להפקת חשמל, אור הפוגע במולקולת כלורופיל גורם בה לשינויים כימיים שהם תחילתו של תהליך הפוטוסינתזה.

### ■ אנרגיה פוטנציאלית

זהו סוג של אנרגיה הניתן לאגירה לאורך זמן, ולעתים ניתן להעביר את האנרגיה האגורה ממקום למקום.

אגירת אנרגיה כאנרגיה פוטנציאלית כרוכה בהתגברות על (פעולה כנגד) אחד משני כוחות: כוח המשיכה של כדור הארץ וכוח חשמלי, כדוגמת הכוחות בין חלקיקי האטום, בין אטומים ובין מולקולות.

בהתאם לכוח הנגדי, קיימים שני סוגים של אנרגיה פוטנציאלית:

#### 1. אנרגיה פוטנציאלית של גובה

העלאת מים לראש מגדל המים נעשית תוך כדי התגברות על כוח המשיכה של כדור הארץ ומקנה למים אנרגיה פוטנציאלית של גובה. כדי להעלות את המים לגובה יש להשקיע אנרגיה: אפשר להשתמש במשאבה (אנרגיה חשמלית) או להיעזר באנשים שיעלו את המים (אנרגיה כימית). את אנרגיית הגובה אפשר להמיר אחר כך לאנרגיה קינטית, כאשר המים מזרמים במורד. ככל שהגוף נמצא בגובה רב יותר, האנרגיה הפוטנציאלית שלו רבה יותר.



## 2. אנרגיה פוטנציאלית כימית

כוח המשיכה בין אטומים למולקולות וכוח המשיכה שבין חלקי האטום – גרעין ואלקטרונים – הם כוחות חשמליים. שינוי כימי, כמו יצירת סוכר מיסודות שונים, הוא שינוי המתרחש בעקבות התגברות על כוח חשמלי.

לתרכובות הפחמן הנוצרות בפוטוסינתזה או הכלולות במזונותינו יש אנרגיה פוטנציאלית כימית. זהו מקור האנרגיה לפעולות האורגניזמים. לאנרגיה הכימית יתרון חשוב: ניתן להעבירה ממקום למקום, לאגור אותה להשתמש בה במועד מאוחר. לנפט, למשל, יש אנרגיה פוטנציאלית כימית שנאגרה בעידנים קדומים ומשמשת את האדם היום. כך גם המזונות השונים הגדלים במקום אחד, מועברים למקום אחר ומארץ לארץ ומשמשים להזנת בני אדם במקומות מרוחקים ממקום גידולם.

### ■ המרת (גלגול) אנרגיה

סוג האנרגיה יכול להשתנות. במכונית הנוסעת הופכת אנרגיה כימית של הדלק לאנרגיה קינטית (תנועה) ולחום. בצמח הגדל באור הופכת אנרגיית האור (אנרגיה קינטית) לאנרגיה כימית. שינוי סוג האנרגיה מכונה "המרה" או "גלגול".

## חוקי הטבע הקשורים לאנרגיה

את כלל התופעות הקשורות באנרגיה, בהעברתה ובגלגולה השונים אפשר להסביר בעזרת חוקי התרמודינמיקה. חוקי התרמודינמיקה אינם כה קלים להבנה, אך חשוב להכירם.

החוק ה-I (נקרא גם "חוק שימור האנרגיה"):

**אנרגיה אינה נוצרת יש מאין ואינה נעלמת או נכחדת.**

כלומר: כמות האנרגיה במערכת מבודדת נשמרת גם בתהליכים שבהם חלים גלגולי אנרגיה וסוג האנרגיה משתנה.

החוק ה-II:

**בכל שינוי של סוג אנרגיה לסוג אחר מקצת האנרגיה משתנה לסוג אנרגיה המכונה "חום". החום הוא סוג של אנרגיה שאינו ניתן להמרה במלואו לסוג אחר של אנרגיה, ולכן לא כולו זמין לביצוע שינוי (כגון תנועה).**

### מדוע קשה להבין חוקים אלה?



אם תחשבו, למשל, על החוק ה-I "חוק שימור האנרגיה" תיווכחו שהוא סותר במידה רבה את ניסיון החיים היום-יומי: הדלק במכונית אוזל, הסוללה מתרוקנת ובעלי חיים זקוקים לאספקה שוטפת של תרכובות אורגניות במזונם כמקור לאנרגיה.

אם כן, היכן כאן שימור האנרגיה?

כדי להבין את שימור האנרגיה יש לבחון את השינויים המלווים את השימוש באנרגיה במערכת מבודדת שלמה ולא בחלק ממנה בלבד.



איור נ-5: שימור האנרגיה במערכת: אנרגיה כימית מומרת לאנרגיית תנועה ולאנרגיית חום

דוגמה אחת היא ניצול חומרי המזון בגוף; לאחר שהחומרים פורקו במערכת העיכול, מועברים תוצרי הפירוק באמצעות הדם אל התאים, שם הם מתחמצנים בתהליך הנשימה התאית. האנרגיה הכימית המופקת בתהליך הנשימה (כ-ATP) מאפשרת ביצוע פעולות חיים שונות, ובסופו של דבר היא נפלטת כחום לסביבה (אך אינה נעלמת או נכחדת). כתוצאה מפעילות האדם התחממה הסביבה. בדוגמה זו, המערכת השלמה היא האדם וסביבתו (איור נ-5).

דבר דומה קורה במהלך נסיעת המכונית. הדלק, מקור האנרגיה לתנועת המכונית, אמנם הולך ואוזל במהלך נסיעת המכונית והתקדמותה, אך בה בעת מתחממים המכונית וחלקיה השונים וכן גם סביבתה. מקצת האנרגיה שבדלק הומרה לאנרגיית תנועה של המכונית, ורובה הפכה לחום הנפלט לסביבה (איור נ-6).



איור נ-6: סכימה של חוקי התרמודינמיקה: שימור אנרגיה והמרתה במכונית נוסעת

השינויים החלים בסביבה – עליית הטמפרטורה כתוצאה מפליטת החום על ידי המכונית הנוסעת או המתעמל – הרבה פחות בולטים מהשינויים האחרים שתיארנו: תנועת המכונית או תנועת המתעמלים. קשה להבחין בשינויים החלים בסביבה, אך הם מתרחשים, ואם היינו מודדים את כלל השינויים במערכת מבודדת, היינו מוצאים כי **האנרגיה אכן נשמרה**.

### האמנם אנרגיה "נוצרת"?

המונח "יצירה" משמש לתיאור תהליך שבו נוצר דבר מה חדש (למשל: יצירת אמנות) שלא היה קיים קודם לכן. לגבי האנרגיה המצב שונה. סוג האנרגיה יכול להשתנות, אך אנרגיה אינה נוצרת או נכחדת, ולכן נכון יותר לכנות את התהליכים המספקים אנרגיה כתהליכים שבהם **מופקת** אנרגיה. לכן שאיבת נפט ממעבה האדמה היא הפקת נפט, והנשימה בתא היא תהליך ביוכימי שבו **מופקת** אנרגיה כימית (כ-ATP).

אם כך, השימוש במילה "יצירה" בהקשר לאנרגיה סותר את הנאמר בחוק ה-I.

לחוק ה-II של התרמודינמיקה יש השלכה חשובה ביותר על החיים ביקום: המרת חלק מהאנרגיה לחום (שאינו ניתן לניצול במלואו) פירושו שדרושה אספקה שוטפת של אנרגיה לקיום החיים. כאן גלומה סתירה כביכול: מצד אחד החוק ה-I טוען כי האנרגיה נשמרת, ומצד אחר – על פי החוק ה-II דרושה אספקה מתמדת של אנרגיה! בעיה זו נובעת מתכונותיו של סוג האנרגיה המכונה "חום", ויש להקדיש לכך הסבר נפרד.

### מהו חום?

חום הוא סוג של אנרגיה קינטית: זוהי האנרגיה הקינטית של מולקולות. בכל המרה של אנרגיה מקצת האנרגיה משמשת להגברת תנועתן של מולקולות. החום הוא סוג של אנרגיה המתוארת כאקראית, מפוזרת, בלתי מאורגנת. אין אפשרות להמיר אנרגיית חום במלואה לסוג אחר של אנרגיה, ולכן לא כולה ניתנת לניצול כדי לבצע שינויים או עבודה. בסופו של דבר אנרגיית החום מתפזרת בחלל (אך לא נעלמת או נכחדת!). דוגמה מחיי יום יום תבהיר נושא זה: חיממנו מים כדי להכין קפה. לאחר זמן מה התקררו המים. אנרגיית חום עברה מהמים לסביבה שהתחממה (האנרגיה נשמרה!). אך לא ניתן לשוב ולנצל את החום שעבר לסביבה כדי לחמם שוב את המים. כדי לחמם אותם פעם נוספת ולהביאם למצב שבו אפשר יהיה להשתמש בהם להכנת קפה נצטרך להשקיע אנרגיה נוספת.

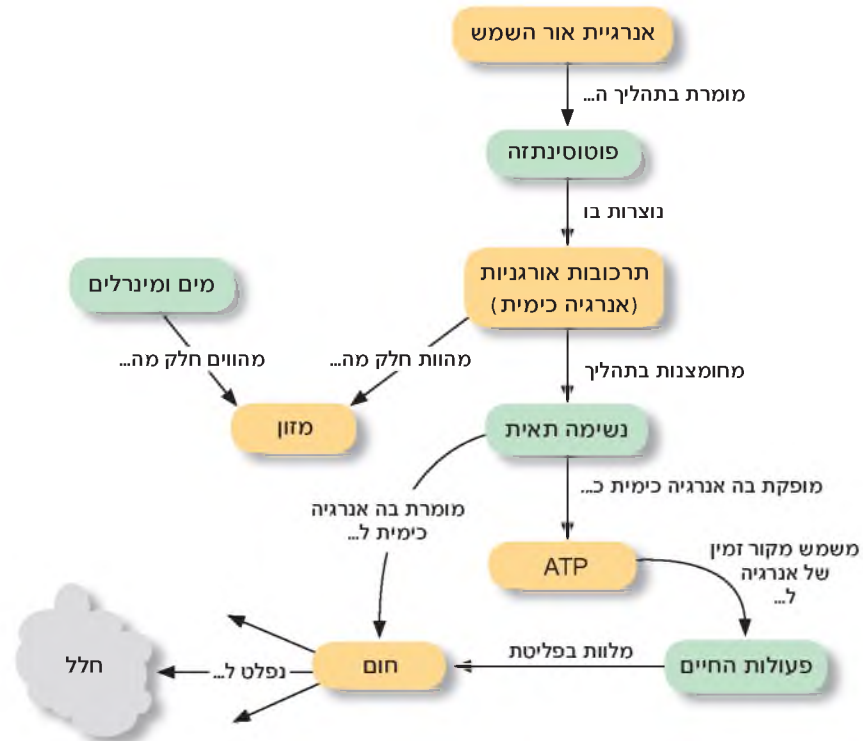
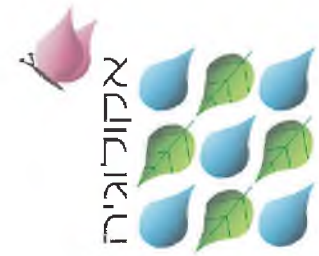
תפיסה שגויה 17  
"אנרגיה היא חומר" ראו טבלה  
בעמוד מ-11.



**יש לזכור:** אפשר להמיר אנרגיה מכל סוג שהוא לחום, אך התהליך ההפוך אינו אפשרי: אפשר להמיר חום רק באופן חלקי לסוג אחר של אנרגיה, ואין אפשרות להמרה מלאה של חום לסוג אחר של אנרגיה.

### אנרגיה במערכת אקולוגית

אנרגיית אור השמש מניעה את רוב תהליכי החיים ביקום. יש יתרון גדול לאפשרות להמיר את אנרגיית האור של השמש לאנרגיה כימית בתהליך הפוטוסינתזה. אנרגיה כימית (למשל: תרכובות אורגניות במזון ובנפט) ניתנת לאגירה ולהעברה, כלומר ניתן להשתמש בה בזמן אחר ובמקום אחר. אפשר לערוך כאן השוואה עם שימוש אחר של אנרגיית השמש – חימום מים בדודי שמש. במקרה זה, חימום המים (הגברת האנרגיה הקינטית של מולקולות המים) בקולט אינו מאפשר לשמור את חומם לאורך זמן, וגם העברתם ממקום למקום היא בלתי יעילה. מפת המושגים באיור נ-7 מסכמת את המרות האנרגיה העיקריות המתוארות בספר זה. שימו לב לכיוון החד-סטרי של מעבר האנרגיה: מאור השמש ועד לחום המתפזר בחלל.



איור נ-7: מפת מושגים: המרות האנרגיה בטבע: צורות האנרגיה השונות בתיבות בצבע כתום

■ מושגים חשובים

- אנרגיה (כימית, אור, חום)
- חומר אורגני
- מזון
- נשימה תאית
- פוטוסינתזה
- ATP

## מילון מונחים

מונח מודגש הכלול בהגדרה מופיע גם הוא כמונח במילון.

**אֵ-ביוטי** – ראו: גורם אֵ-ביוטי

**אבולוציה** – (evolution)

תהליך ההשתנות של מינים. שינויים תורשתיים המצטברים במהלך הדורות ומביאים להתפתחותם של מינים חדשים ממינים שקדמו להם. (ראו גם: ברירה טבעית)

**אוזון** – (ozone)

מולקולה של גז הנוצרת מ-3 אטומי חמצן ( $O_3$ ), נמצאת באטמוספירה בשכבת הסטרטוספירה, מקטינה את חדירת הקרינה העל-סגולה (המזיקה) המגיעה מהשמש לכדור הארץ. פגיעה בשכבת האוזון (דלדול האוזון או "חור באוזון") נגרמת ממהמים באטמוספירה ומגדילה את חדירת הקרינה העל-סגולה.

**אוטוטרופ** – (autotroph)

אורגניזם המייצר חומר אורגני מחומרים אנאורגניים באמצעות מקור אנרגיה, למשל: אנרגיית אור מהשמש או אנרגיה המתקבלת בעת חמצון תרכובות אנאורגניות מסוימות. (ראו גם: הטרוטרופ)

**כימו־אוטוטרופ** – (chemoautotroph)

אורגניזם אנאורגני (לעתים קרובות מימן גופרי) ומפיק מהחמצון אנרגיה לסינתזה של פחמימות מ- $CO_2$ , לדוגמה: חיידקי גפרית.

**פוטו־אוטוטרופ** – (photoautotroph)

אורגניזם אור לסינתזה של פחמימות מ- $CO_2$  וממים. (ראו גם: הטרוטרופ, יצרן)

**אוכלוסייה** – (population)

קבוצה של אורגניזמים בני אותו מין (species) החיה באזור מסוים באותו זמן. (ראו גם: חברה)

**אוסמוזה** – (osmosis)

דיפוזיה של מולקולות מים דרך קרום בררני בתגובה למפל לחצים ו/או מפל ריכוזים.

**אור** – (light)

קרינה אלקטרומגנטית באורך גל 400–700 ננומטר (ננומטר =  $0.0000001$  מ"מ) הנקלטת בעין האדם. מהווה מקור אנרגיה לפוטוסינתזה ואת סביבתי המשפיע על תהליכי התפתחות בצמחים ובבעלי חיים.

**אורגני, חומר** – ראו: חומר אורגני

**אות סביבתי** – ראו: אור

**אטמוספירה** – (atmosphere)

שכבת הגזים העוטפת את כדור הארץ. אין לה גבול עליון מוגדר.

**אלולופתיה** – (allelopathy)

עיכוב הגידול וההתפתחות של צמחים על ידי חומרים המיוצרים בצמחים שכנים והמופרשים מהם לסביבה. (ראו גם: תחרות הפרעה)

**אנדמי, מין** – ראו: מין אנדמי

**אנרגיה כימית** – (chemical energy)

האנרגיה הפוטנציאלית של חומרים אורגניים המשמשים כמקור להפקת אנרגיה בתהליכים ביולוגיים ותעשייתיים. (ראו גם: חומר אורגני)

**אנרגיית חום**

צורה של אנרגיה; אינה ניתנת להמרה במלואה לצורות אחרות של אנרגיה.

**אפקט החממה** – (greenhouse effect)

תהליך ההילכדות באטמוספירה של אנרגיית חום המוחזרת מכדור הארץ. אפקט החממה יוצר תנאי טמפרטורה נוחים לחיים על פני כדור הארץ. הגברה של אפקט החממה נגרמת כנראה בשל העלייה בריכוז פחמן דו-חמצני ובשל העלייה בריכוז מזהמים אחרים באטמוספירה. (ראו גם: גז חממה, שינוי אקלימי)

**אקולוגיה** – (ecology)

המדע העוסק ביחסי הגומלין הקובעים את השפעת התפוצה של אורגניזמים. (ראו גם: מערכת אקולוגית)

**אקלום** – (acclimation)

שינוי הפיך במורפולוגיה או בפיזיולוגיה של אורגניזם בתגובה לשינוי בתנאי הסביבה. בחקלאות האקלום כולל תהליך של ברירה מלאכותית. (ראו גם: ביות, הסתגלות)

**ביוטי, גורם** – ראו: גורם ביוטי

**ביומה** – (biome)

קטגוריה רחבה של חברה המאופיינת בטיפוס מסוים של נוף צמחי (המעניק לה את שמה) ובטיפוסי אורגניזמים הנלווים אליה.

**ביומסה** – (biomass)

המסה הכוללת של היצורים החיים, מבוטאת בדרך כלל כמשקל יבש ליחידת שטח.



**דיות** – (טרנספירציה, transpiration) התאדות מים מעלים ומחלקים אחרים של צמחים המתרחשת בעיקר דרך הפיוניות.

**דיפוזיה** – (diffusion) תנועה עצמית (ספונטאנית), אקראית של חלקיקים שכתוצאה ממנה הם מתפזרים במרחב. (ראו גם: אוסמוזה)

**דישון** – (fertilization) הוספת חומרי הזנה לקרקע: מלחים מינרליים המסיסים במים וזמינים לצמח או חומרים אורגניים. היסודות העיקריים המוספים בדישון כימי הם חנקן, זרחן ואשלגן. (ראו גם: זבל אורגני, קומפוסט)

**דלדול האוזון** – ראו: אוזון

**הדברה ביולוגית** – (biological control) הדברה של מזיקים בחקלאות – צמחים, פטריות, בעלי חיים – ובקרה של גודל אוכלוסיותיהם באמצעות אורגניזם שהוא טפיל של האורגניזם המזיק טורף אותו, מתחרה בו או גורם לו מחלה.

**הדברה כימית** – (chemical control) הדברה של מזיקים בחקלאות – צמחים, פטריות ובעלי חיים – באמצעות חומר כימי (רעל) הפוגע באורגניזם המזיק. החומר הכימי עלול לפגוע גם באורגניזמים אחרים שאינם מזיקים.

**הדברה משולבת** שימוש בזמני בהדברה כימית ובהדברה ביולוגית.

**הדדיות** – (mutualism) יחסי גומלין מסוג סימביוזה בין שני מינים המועילים לשני השותפים. דוגמה: יחסי הגומלין בין אצה לבין פטרייה בחזזית או בין חרק לבין צמח המואבק על ידו. (ראו גם: קומנסליזם)

**הומאוסטאזיס** – (homeostasis) יכולתו של אורגניזם לשמור על סביבה פנימית יציבה השונה מתנאי הסביבה החיצונית. דוגמה: ויסות הטמפרטורה בבעל חיים הומאותרמי.

**הומאותרמי** – (homeotherm) בעל חיים שיש לו מנגנון ויסות פיזיולוגי פנימי לשמירה על טמפרטורת גוף קבועה, פחות או יותר, בסביבה שבה הטמפרטורה משתנה. (ראו גם: פויקילותרמי)

**הזנה** – (feeding) תהליך שבו אורגניזם משיג מזון, מעבדו ומנצל אותו. (ראו גם: אוטוטרופ, הטרוטרופ)

**ביוספירה** – (biosphere) שכבה סביב כדור הארץ שבה מתקיימים חיים, היא כוללת את האוויר, המים והקרקע. (ראו גם: אטמוספירה)

**ביות** – (domestication) טיפוח וברירה של צמחים ובעלי חיים לתועלת האדם. (ראו גם: אקלום, ברירה מלאכותית)

**בית גידול** – (habitat) המקום (למשל: גזע עץ, שלולית, "מתחת לאבן") שבו חי בעל חיים או צמח. (ראו גם: מערכת אקולוגית)

**ברירה טבעית** – (natural selection) תהליך הקובע את התרומה היחסית של פרטים שונים באוכלוסייה לדור הבא. פרטים המותאמים יותר מאחרים לתנאי הסביבה מעמידים יותר צאצאים. בעקבות זאת גדלה באוכלוסייה שיחות הפרטים בעלי התכונות התורשתיות המקנות התאמה לסביבה. (ראו גם: אבולוציה, ברירה מלאכותית, התאמה, שונות)

**ברירה מלאכותית** – (artificial selection) ברירה הנעשית בידי האדם, כדי לטפח זני צמחים ובעלי חיים בעלי תכונות רצויות למטפח. המגדלים מונעים את התרבותם של פרטים החסרים תכונות אלו. (ראו גם: ברירה טבעית, ביות, אקלום)

**גומחה אקולוגית** – (niche) מרחב רבי-ממדי שבו מתקיים המין. המרחב מוגדר על פי התנאים, המשאבים, זמני הפעילות ויחסי הגומלין שהפרטים של המין מקיימים עם סביבתם.

**גורם אִביוטי** – (abiotic factor) מרכיב לא חי של הסביבה, למשל: קרקע, מים, אוויר, אור, טמפרטורה, מלחים. (ראו גם: חומר אנאורגני)

**גורם ביוטי** – (biotic factor) אורגניזם חי או חלק מאורגניזם (דוגמאות: עלה שנשר, פרי, ביצה) או אורגניזם שמת לפני זמן קצר.

**גורם מגביל** – (limiting factor) גורם (משאב או תנאי) ששינוי ברמתו או בעצמתו משנה (מגביר/מאט/מעכב) את עצמתו של תהליך באורגניזם או את קצב גידול האוכלוסייה. (ראו גם: כושר נשיאה)

**גז חממה** – (greenhouse gas) גזים שונים (לדוגמה: CO<sub>2</sub>, מתאן, אדי מים, תחמוצות חנקן וגפרית) הנפלטות לאטמוספירה, מגבירים את הילכדות החום ותורמים קרוב לוודאי לעלייה בטמפרטורה שלה. (ראו גם: אפקט החממה, שינוי אקלימי)

**חברה** – (community)

קבוצה של אוכלוסיות החיות באותו אזור ומקיימות יחסי גומלין ביניהן. בחברות צמחים נקבע שם החברה על פי המינים הנפוצים בה. (ראו גם: אוכלוסייה)

**חד־שנתי, צמח** – (annual)

צמח המשלים את מחזור חייו (מזרע לזרע) במשך עונת צמיחה אחת. (ראו גם: רב־שנתי)

**חום סגולי** – (specific heat)

כמות האנרגיה שיש להשקיע או לגרוע כדי לשנות את הטמפרטורה של 1 גר' של חומר ב-1°C. החום הסגולי של מים הוא 4.2 ג'ול (= 1 קלוריה).

**חומר אורגני** – (organic compound)

תרכובת המכילה פחמן ומימן ולרוב גם חמצן. למשל: פחמימות ושומנים. בחלבונים ובחומצות גרעין יש גם חנקן ולעתים עוד יסודות ובעיקר זרחן וגפרית. לתרכובות אורגניות רבות יש מספר רב של אטומי פחמן. היווצרותן של תרכובות אורגניות בטבע תלויה בפעילות של אורגניזמים חיים.

**חומר אנאורגני** – (inorganic compound)

כל החומרים בטבע שאינם תרכובות של פחמן ומימן. לדוגמה: יסודות, מלחים, CO<sub>2</sub> ומים.

**”חור באוזון”** – ראו: אוזון

**חיטוי סולרי**

הדברת מזיקים על ידי כיסוי הקרקע ביריעות פוליאיתילן שקוף. קרינת השמש נבלעת בקרקע, הטמפרטורה בקרקע עולה מאוד והמזיקים מתים.

**חיי שיתוף** – ראו: סימביוזה

**חילוף גזים** – ראו: נשימה

**חילוף חומרים** – (metabolism)

כלל התהליכים הכימיים המתרחשים בתאים. תהליכים אלה כוללים פירוק והרכבה של תרכובות אורגניות.

**חנקן, מחזור** – ראו: מחזור חומרים

**חנקן, קיבוע** – (nitrogen fixation)

חיזור של חנקן מולקולרי וקיבועו לתרכובות (כגון אמוניה) על ידי אנרגיה חשמלית (ברק), על ידי חיידקים מקבעי חנקן ובתהליכים תעשייתיים ליצירת דשנים.

**הטרטורף** – (heterotroph)

אורגניזם המנצל חומרים אורגניים (אורגניזמים אחרים, הפרשותיהם או שרידיהם) כמקור לאנרגיה ולחומרים לבניית גופו. (ראו גם: אוטוטרף)

**הכחדה** – (extinction)

תהליך שבסופו מין נעלם לחלוטין מעל פני כדור הארץ.

**הכנסת/פלישת מינים** – (introduction, invasion)

הפצה על ידי האדם (מקרית או מכוונת) של מין שמתבסס ונפוץ באזור שמחוץ למקומו הטבעי/המקורי/ ההיסטורי. (ראו גם: מין פולש)

**המרת אנרגיה**

שינוי של סוג (צורת) האנרגיה, למשל: אנרגיית אור לאנרגיה כימית. (ראו גם: זרימת אנרגיה)

**הנדסה גנטית** – (genetic engineering)

שינויים מכוונים ב-DNA של תא או של יצור הנעשים בידי אדם לשם מחקר או לשם יישום ברפואה ובחקלאות. התוצרים של הנדסה גנטית מכונים “מינים מהונדסים”.

**הסתגלות** – (acclimation)

שינוי הפיך במורפולוגיה או בפיזיולוגיה של אורגניזם בתגובה לשינוי בתנאי הסביבה. (ראו גם: התאמה, אקלים)

**העברת אנרגיה** – ראו: זרימת אנרגיה

**התאמה** – (adaptation)

תכונה (התנהגותית, מורפולוגית או פיזיולוגית-ביוכימית) תורשתית של פרט המגדילה את סיכויו לשרוד בסביבתו ולהתרבות בה לעומת פרטים אחרים באוכלוסייה שאינם נושאים תכונה זו. (ראו גם: אבולוציה, ברירה טבעית, הסתגלות)

**התחממות כדור הארץ** – ראו: שינוי אקלימי

**זבל אורגני**

תוספת מזינה ומטייבת לקרקע המבוססת על תרכובות אורגניות שמקורן בשרידים ובהפרשות של בעלי חיים וצמחים. (ראו גם: דישון, קומפוסט)

**זואופלנקטון** – ראו: פלנקטון

**זרימת אנרגיה** – (energy flow)

כלל התהליכים שבאמצעותם עוברת אנרגיה בין אורגניזמים במארג המזון ובין אורגניזמים לבין סביבתם.



**כושר נשיאה** – (carrying capacity) מספר הפרטים המרבי של מין מסוים שאותו יכולים המשאבים בבית הגידול לקיים. (ראו גם: אוכלוסייה)

**כימו־אוטוטרופ** – ראו: אוטוטרופ

**כשירות** – (fitness) התרומה התורשתית של פרט בעל גנוטיפ מסוים לדורות הבאים, בהשוואה לתרומתם של פרטים בעלי גנוטיפים אחרים. (ראו גם: התאמה)

**מארג מזון** – (food web) ייצוג איכותי של מעברי האנרגיה ושל מעברי החומרים בין אורגניזמים בחברה. סך כל שרשרות המזון שהאנרגיה מועברת באמצעותן מהיצרנים אל הצרכנים ואל המפרקים והקשרים ביניהן. (ראו גם: פירמידה אקולוגית, שרשרת מזון)

**מגוון ביולוגי** – (biodiversity) מושג־על הכולל את כל מדדי השונות בטבע: כלל הגנים, המינים והמערכות האקולוגיות באזור או בכדור הארץ. (ראו גם: מגוון מינים)

**מגוון מינים** – (species diversity) כל המינים באזור מסוים או בכדור הארץ. (ראו גם: עושר מינים)

**מוטואליזם** – ראו: הדדיות

**מוצרים של מערכת אקולוגית** – (ecosystem goods) המזונות והחומרים שמקבלים בני האדם ממערכות אקולוגיות, כמו: מזון, סיבים, עץ, תרופות. (ראו גם: שירותים של מערכת אקולוגית)

**מחזור גידולים** – (crop rotation) שיטה חקלאית: בחלקת שדה זורעים גידולים שונים לסירוגין בשנים שונות (אין מגדלים אותו גידול שנתיים ברצף). בכל מחזור מגדלים גם סוג של קטניות כדי להעשיר את הקרקע בחנקן.

**מחזור חומרים** – (מחזור ביוגיאוכימי, material cycle) (biogeochemical cycle) מעבר מחזורי של יסודות (דוגמה: חנקן, פחמן) או תרכובות (דוגמה: מים) דרך המרכיבים הביולוגיים והא־ביולוגיים של המערכת האקולוגית. במעבר המחזורי יש שימוש חוזר ביסודות (מחזור יסודות) המלווה בשינויים כימיים.

**מחסום ביוגיאוגרפי** – (biogeographic barrier) מאפיין פיזי של הסביבה (נהר, שרשרת הרים) המונע מגע והתרבות בין חלקים באוכלוסייה ועשוי להביא במהלך הזמן להתפצלות האוכלוסייה לשני מינים שונים. (ראו גם: מין)

**חקלאות** – (agriculture) ענף כלכלי שמטרתו לספק בעיקר מזון וגם מוצרים רבים אחרים לתצרוכת בני האדם.

**חקלאות אורגנית** – חקלאות שאינה משתמשת בדשנים כימיים ובחומרי הדברה.

**חקלאות אינטנסיבית** – חקלאות המבוססת על גידולים שהיבול שלהם ליחידת שטח הוא גבוה, הגידולים מקדימים לתת יבול ומגיבים היטב להשקיה ולדישון.

**חקלאות בת־קיימא** – (sustainable agriculture) חקלאות המספקת את צורכי הדור הנוכחי וגם מקפידה לא לפגוע באפשרות לספק את צורכי הדורות בעתיד, הן בתחום המזון והן בתחום שירותים ומוצרים אחרים של המערכת האקולוגית.

**טורף** – (predator) בעל חיים (לעתים רחוקות: צמח) הממית בעלי חיים ואוכל אותם. (ראו גם: צרכן שניוני)

**טורף־על** (top-predator) – טורף שאין בעלי חיים הטורפים אותו.

**טפילות** – (parasitism) סוג של חיי שיתוף (סימביוזה): הטפיל הוא אורגניזם החי על גופו או בתוך גופו של אורגניזם אחר – הפונדקאי. הטפיל ניזון מהפונדקאי, מפיק תועלת ממנו וגורם לו נזק בדרך כלל בלי להמיתו.

**טריטוריאליזם** – (territoriality) מצב שבו אורגניזם או קבוצת אורגניזמים תוחמים לעצמם שטח (טריטוריה) והם מגינים עליו מפני חדירה של פרטים אחרים בני מינם. (ראו גם: תחרות הפרעה)

**טריפה** – ראו: טורף

**טרנספירציה** – ראו: דיות

**יחס בין שטח הפנים לנפח** – (surface to volume ratio) היחס הקובע את שיעור חילופי החומרים והאנרגיה בין אורגניזם או בין איבר באורגניזם לבין סביבתו.

**יחסי גומלין** קשרים הדדיים המתקיימים בין אורגניזמים שונים. כל אחד מהאורגניזמים משפיע על האחר ומושפע ממנו.

**יצרן** (ראשוני) – (primary producer) צמחים ירוקים, אצות, וחיידקים (פוטוסינתטיים וכימוסינתטיים) המסנתזים תרכובות אורגניות תוך כדי שימוש בחומרים אנאורגניים ( $\text{CO}_2$  ומים או  $\text{H}_2\text{S}$ ) ובאנרגיה מהסביבה. (ראו גם: אוטוטרופ, פוטוסינתזה)



#### מצע מנותק

מצע שאינו קרקע, כגון: טוף, קלקר או כבול. גידול במצע מנותק מונע בעיות הקשורות במחלות קרקע ובתכונות הקרקע, מאפשר בקרה טובה של ריכוזי היסודות המינרליים במצע ובקרת תנאי הסביבה של השורשים.

#### מרקם הקרקע – (soil texture)

היחס הכמותי בין חלקיקי הקרקע (חול, טילט וחומר) על פי גודלם.

#### משאבים – (resources)

מקורות אנרגיה, חומרים ושטחי מחיה הנחוצים לקיומו של אורגניזם, לגידולו ולהתרבותו. אם המשאב נדיר יחסית לדרישה, מתייחסים אליו כאל משאב (גורם) מגביל. (ראו גם: גורם מגביל)

#### נביטה – (germination)

תחילת הפעילות המטבולית והגדילה של עובר צמח והצצת השורשון מתוך קליפת הזרע. לנביטה קודמת קליטת מים בכמות הגדולה מכמות סף מסוימת.

#### נדידה – (migration)

תנועה עונתית של אוכלוסייה ממקום שבו הפרטים חיים למקום אחר וחזרה למקום המוצא.

#### נקודת כמישה – (wilting point)

מצב בקרקע שבו נשארים רק מים שאינם זמינים לצמח, והצמחים הגדלים בה קומלים ואינם מתאוששים. (ראו גם: קיבול שדה, מים זמינים)

#### נשימה – (חילוף גזים, breathing)

תהליך באורגניזמים של חילוף גזים עם הסביבה: קליטת חמצן ( $O_2$ ) ושחרור פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ).

#### נשימה תאית – (cellular respiration)

רצף של תהליכים כימיים בתא שבהם מפורקות (מחומצנות) מולקולות אורגניות (מזון), בדרך כלל בעזרת חמצן, ומנוצלת מקצת האנרגיה המשתחררת ליצירת ATP, השאר נפלט כחום.

#### סביבה – (environment)

המכלול של הגורמים הביוטיים והא־ביוטיים בסביבה שהאורגניזם חי בה, ועם גורמים אלו מקיים האורגניזם יחסי גומלין למיניהם.

#### סביבה פנימית

באורגניזם: הסביבה של תוך התאים ושל החומר החוץ-תאי, כולל נוזל הדם ונוזל הלימפה. הסביבה הפנימית שונה מהסביבה החיצונית ומאפייניה נשמרים יציבים. (ראו גם: הומאוסטאזיס)

#### מטבוליזם – ראו: חילוף חומרים

#### מי קולחין

שפכים שעברו תהליך טיהור וניתן להשתמש בהם להשקיית גידולים חקלאיים ולתעשייה.

#### מים זמינים

כמות המים הזמינה לצמחים בקרקע לאחר שהתנקזה. ההפרש בין קיבול שדה לבין נקודת כמישה.

#### מים מטבוליים

המים הנוצרים בתהליכי חילוף החומרים באורגניזם. משמשים מקור מים עיקרי לבעלי חיים מסוימים.

#### מים שפירים

מים שאיכותם טובה והם ראויים לשתיה ולכל שימוש אחר.

#### מין – (species)

יחידה יסודית במערכת המיון הביולוגי. קבוצת פרטים המתרבים בטבע בינם לבין עצמם ומעמידים צאצאים פוריים. (ראו גם: אוכלוסייה)

#### מין אנדמי – (endemic species)

מין בעל תפוצה גיאוגרפית מוגבלת, התפתח במקום מסוים, נמצא רק בו ולא באף מקום אחר.

#### מין מהונדס – ראו: הנדסה גנטית

#### מין מוגן

אורגניזם שאסור על פי חוק לפגוע בו ובבית גידולו.

#### מין פולש – (invasive species)

מין שהתפתח במקום אחד ומגיע למערכת אקולוגית אחרת, שם הוא נקלט, מתרבה ומשפיע על המערכת האקולוגית. המעבר יכול להיות טבעי ויכול להיות תוצאה של פעילות האדם, המעביר במכוון או בשוגג מינים ממקום למקום. (ראו גם: הכנסת/פלישת מינים)

#### מיקוריזה – (mycorrhiza)

סימביוזה מסוג הדדיות בין פטריות לבין שורשי צמחים.

#### מערכת אקולוגית – (ecosystem)

רמת ארגון הכוללת את החברה ואת הסביבה הא־ביוטית הפועלים יחדיו כמערכת אחת. התהליכים החשובים במערכת אקולוגית הם העברת אנרגיה ומחזורי חומרים. (ראו גם: בית גידול, זרימת אנרגיה)

#### מפרק – (decomposer)

אורגניזם המפיק אנרגיה מפירוק של חומר אורגני (הנמצא בשרידי אורגניזמים ובהפרשותיהם) לתרכובות פשוטות ולתרכובות אנאורגניות, דוגמה: חיידקים או פטריות.



### סוציוביולוגיה – (sociobiology)

תחום במדע המיישם את עקרונות תאוריית האבולוציה להסבר תופעות של התנהגות חברתית בטבע, למשל: עזרה לפרטים בני אותו המין. התנהגויות אלה שרדו בתהליך הברירה הטבעית, מכיוון שהן תורמות להישרדות המידע התורשתי של הפרט בצאצאיו ובקרוביו (אם כי לא בהכרח להישרדותו של הפרט עצמו).

### סוקססיה – (succession)

תהליך של שינוי בהרכב החברה בבית הגידול, חברה אחת מחליפה חברה אחרת בעקבות השינויים המתרחשים בבית הגידול בהשפעת המינים המרכיבים את החברה. סוקססיה ראשונית מתחילה בסלע או בקרקע בור. סוקססיה משנית מתרחשת בבתי גידול שבהם התקיימו חיים בעבר, אך החברה הופרעה או נהרסה.

### סימביוזה – (symbiosis)

חיי שיתוף של שני מינים (species) שיש ביניהם קשר הדוק במשך זמן רב. דוגמאות לסימביוזה: טפילות, הדדיות (מוטואליזם), קומנסליזם. לעתים אין המינים השותפים יכולים להתקיים באופן עצמאי. הערה: יש מקורות מידע שבהם עדיין מייחדים את המושג סימביוזה ליחסי שיתוף של הדדיות.

### עושר מינים – (species richness)

מספר המינים באזור מסוים, לעתים משמש מדד למגוון הביולוגי.

### פוטו־אוטוטרופ – ראו: אוטוטרופ

### פוטוסינתזה – (photosynthesis)

התהליך שבאמצעותו אורגניזמים המכילים כלורופיל ממירים אנרגיית אור לאנרגיה כימית ומשתמשים בה לסינתזת פחמימות ומולקולות אורגניות אחרות מ- $CO_2$  ומים.

### פוטופריודיות – (photoperiodism)

תגובות התפתחותיות של בעלי חיים ושל צמחים למחזוריות היומית של אור וחושך. בצמחים תגובת הפריחה תלויה באורכה של תקופת חושך רצופה במחזור.

### פויקילותרמי – (poikilotherm, אקטותרמי)

בעל חיים שטמפרטורת גופו משתנה (בגבולות מסוימים) בהתאם לטמפרטורת הסביבה. מקור החום בבעלי חיים אלה הוא חיכוך, וטמפרטורת גופם מווסתת על ידי מנגנונים התנהגותיים בלבד. (ראו גם: הומאותרמי)

### פונדקאי – (host)

אורגניזם המשמש בית גידול, מקור מזון או מקור לצרכים אחרים של אורגניזם ממין אחר. בדרך כלל קיימים יחסי גומלין של טפילות בין הפונדקאי לבין האורגניזם החי בו או עליו.

### פחמימה – (carbohydrate)

חומר אורגני המכיל פחמן, מימן וחמצן. דוגמאות של פחמימות: סוכרוז, עמילן, גליקוגן ותאית.

### פטריות – (fungi)

ממלכה של אורגניזמים אוקריוטים חד-תאיים או רב-תאיים, הטרוטרופיים, בעלי דופן תא המתפתחים מנבגים. במערכת האקולוגית מתפקדות הפטריות כמפרקים. דוגמה: שמרים, פטריות כובע, עובש. פטריות מסוימות משתתפות במיקוריזה עם שורשי צמחים.

### פיוניות – (stomata)

פתחים באפידרמיס של העלה ושל איברים על-קרקעיים אחרים לא מעוצים של הצמח שדרכם מתרחשים דיות וחילוף הגזים ( $CO_2$ , חמצן) בין הצמח לבין הסביבה. הפתח מוקף על ידי שני תאים מיוחדים הנקראים "תאי שמירה", וכאשר הצמחים מאבדים מים, יוצאים מים מתאי השמירה, ופתח הפיוניות נסגר. הפיוניות מסייעות לשמירת מאזן מים חיובי ברקמות הצמח ומקטינות את סכנת ההתייבשות.

### פיטופלנקטון – ראו: פלנקטון

### פירמידה אקולוגית – (ecological pyramid)

ייצוג גרפי כמותי של רמות ההזנה בבית גידול או במערכת אקולוגית.

בפירמידת ביומסה כל נדבך מייצג את הביומסה של כלל הפרטים ברמת הזנה מסוימת.

בפירמידת מספרים כל נדבך מייצג את מספר הפרטים ברמת הזנה מסוימת. (ראו גם: שרשרת מזון, מארג מזון)

### פיתוח בר־קיימא – (sustainable development)

פיתוח כלכלי העונה על הצרכים והשאיות של הדור הנוכחי בלי לפגוע ביכולת למלא אותם צרכים ושאיפות גם בדורות הבאים. (ראו גם: חקלאות בת־קיימא)

### פלישת מינים – ראו: הכנסת/פלישת מינים, מין פולש

### פלנקטון – (plankton)

יצורים מיקרוסקופיים הצפים או השוחים במים.

### זואופלנקטון – אורגניזמים זעירים אוכלי צמחים או

טורפים הצפים או השוחים במים.

### פיטופלנקטון – צמחים זעירים הצפים או השוחים במים

ומבצעים פוטוסינתזה.

### פקעיות חנקן – (root nodules)

גידול רקמה בשורש המכיל חיידקים קושרי חנקן המקיימים סימביוזה מסוג הדדיות (מוטואליזם) עם הצמח, נפוץ בצמחים ממשפחת הקטניות. (ראו גם: חנקן, קיבוע).

**שונות** – (variation)

כל ההבדלים (גנטיים ופנוטיפיים) בין פרטים באוכלוסייה. השונות באוכלוסייה היא "חומר הגלם" לברירה הטבעית ולברירה המלאכותית.

**שיווי משקל דינמי** – (dynamic equilibrium)

מצב (של אורגניזם או של מערכת אקולוגית) שמאופיין ביציבות של הביומסה, שיעורי התהליכים, גודל האוכלוסיות והרכב החברות.

**שינוי אקלימי** – (global warming)

עלייה בטמפרטורה העולמית ("התחממות כדור הארץ") הנגרמת קרוב לוודאי מהעלייה בריכוזיהם של גזי חממה (CO<sub>2</sub>, מתאן ועוד) באטמוספירה. (ראו גם: אפקט החממה)

**שירותים של מערכת אקולוגית** – (ecosystem services)

מאפיינים של מערכת אקולוגית ותהליכים המתקיימים בה שיש בהם תועלת לבני האדם, כמו: מניעה של סחיפת קרקע, סינון מים, הנאה מיפי הטבע ועוד. (ראו גם: מוצרים של מערכת אקולוגית)

**שפע** – (abundance)

מספר הפרטים של מין באזור מסוים. (ראו גם: עושר מינים, תפוצה)

**שרשרת מזון** – (food chain)

ייצוג איכותי של רצף אחד של יחסי ההזנה בחברה. יצרן נאכל על ידי אוכל צמחים הנאכל על ידי טורף. המפרקים ניזונים מכל מרכיבי השרשרת. (ראו גם: מארג מזון, פירמידה אקולוגית)

**תאית** – (צלולוזה, cellulose)

**פחמימה** (רב-סוכר) הבנויה כמולקולה ארוכה המורכבת מיחידות של גלוקוז. נמצאת בדופן של תאי צמחים. התאית היא אחת הפחמימות הנפוצות ביותר בטבע.

**תחרות** – (competition)

**יחסי גומלין שליליים** בין שני פרטים או יותר הזקוקים לאותו **משאב** (למשל מזון או טריטוריה). יש תחרות בין פרטים מאותו המין (תחרות באוכלוסייה) ותחרות בין פרטים ממינים שונים (תחרות בין מינים).

**תחרות הפרעה** – (interference)

תחרות שבה פרטים מפריעים זה לזה באופן פיזי להשיג את המשאב שהם מתחרים עליו. (ראו גם: אלולופתיה, טריטוריאליות)

**תחרות ניצול** – (exploitation)

תחרות שבה ההשפעה המזיקה של אחד המתחרים על האחר נובעת משמוש במשאב (מזון או טריטוריה) הגורם לירידה בזמינותו.

**צרכן** – (consumer)

אורגניזם המקבל חומרים ואנרגיה על ידי אכילת אורגניזמים אחרים, הפרשותיהם או שרידיהם. (ראו גם: יצרן)

**צרכן ראשוני** – אוכל צמחים, הצרכן הראשון בשרשרת מזון.

**צרכן שניוני** – אוכל בעלי חיים. (ראו גם: טורף)

**קומנסליזם** – (commensalism)

**יחסי גומלין מסוג סימביוזה** בין שני אורגניזמים ממינים שונים שבהם אחד השותפים מפיק תועלת, והשני אינו ניזוק, אך גם אינו מפיק תועלת מהשותפות. (ראו גם: הדדיות)

**קומפוסט** – (compost)

**זבל אורגני** המיוצר מפסולת אורגנית כגון אשפה ביתית, הפרשות בעלי חיים ושאריות מגידולים חקלאיים; הקומפוסט מספק יסודות מינרליים לצמחים, מטייב קרקעות ומהווה מרכיב במצעים מנותקים. (ראו גם: דישון)

**קיבול שדה** – (field capacity)

מצב שבו הקרקע "מחזיקה" את מלוא כמות המים האפשרית, לאחר שהסתיים הניקוז שנגרם על ידי כוח הכובד. (ראו גם: מים זמינים, נקודת כמישה)

**קיבוע חנקן** – ראו: חנקן, קיבוע

**קיימות** – ראו: פיתוח בר-קיימא

**קרקע** – (soil)

תוצר של התפוררות מכנית וכימית של סלעים ושל פעילות אורגניזמים. הקרקע משמשת מצע גידול לאורגניזמים החיים ביבשה.

**רב-שנתי** – (perennial)

צמח החי יותר משתי עונות ופורח פעם אחת בשנה. (ראו גם: חד-שנתי)

**רמות ארגון** – (levels of biological organization)

ארגון היררכי המבטא עלייה במורכבות של מערכות ביולוגיות החל במולקולות שבתאים, דרך האברונים, התאים, האורגניזמים, החברה וכלה בביוספירה.

**רמת הזנה** – (trophic level)

עמדה בשרשרת המזון (או שלב בפירמידה אקולוגית), הנקבעת על ידי מספר ה"צעדים" של מעברי האנרגיה עד לעמדה (שלב) זו. קביעת רמת ההזנה מאפשרת מיון של אורגניזמים במערכת האקולוגית לפי תפקודם במערכת: מרמת היצרנים דרך הצרכנים הראשוניים – אוכלי העשב וכלה בצרכנים השניוניים – הטורפים.



**תנאים** – (conditions)

המאפיינים הכימיים והפיזיקליים של הסביבה המשפיעים על תהליכים באורגניזמים ועל גידול האוכלוסייה, כמו: טמפרטורה, מליחות, חומציות. (ראו גם: משאבים, גורם מגביל)

**תפוצה** – (distribution)

הפיזור של מינים באזור מסוים או על פני כדור הארץ. (ראו גם: שפע)

**תרדמה** – (dormacy)

מצב שבו נפסק זמנית הגידול וקטנה מאוד הפעילות המטבולית. נבגים, זרעים, פקעות, חיידקים ובעלי חיים מסוימים נמצאים בתרדמה בתקופה שבה התנאים אינם נוחים (יובש, קור עז וכו').

**תרדמת חורף** – (hibernation)

בבעלי חיים (למשל: דובים), מצב של שינה בחורף המלווה בירידה של ממש בקצב חילוף החומרים.

**תרכובת אורגנית** – ראו: חומר אורגני

**ATP** – (Adenozine Triphosphate)

תרכובת אורגנית המתווכת בין תהליכים משחררי אנרגיה לתהליכים צורכי אנרגיה בתא. מהווה מקור של אנרגיה כימית זמינה. (ראו גם: נשימה תאית)

אמוניה 152, 78, 77, 63  
 אמנות בין-לאומיות 145  
 אנדמי, מין 140, 135, 108  
 אנזימים 79, 58  
 אנרגיה 172-171, 78, 77-76, 50  
 במערכת אקולוגית 175, 132, 131, 88-87  
 המרה (גלגול) 174, 175-173, 89, 86  
 העברה 175, 90-87, 86  
 הפקה 170, 88, 84  
 זמינה 170, 89  
 חוק שימור ה... 174-173,  
 כימית 173, 170, 90, 89, 88, 87, 86, 84, 83, 54, 50  
 176-174  
 כמשאב 75  
 כמשאב מתכלה 88  
 מקורות (נפט, דלק, גז טבעי, פחם), 174, 173, 49, 88,  
 סוגים 172  
 פוטנציאלית 172  
 קינטית 175, 172  
 אנרגיית אור 176, 89, 88, 86, 78, 76  
 אנרגיית חום 176-174, 88, 86, 60  
 אנרגיית שמש 88, 87  
 אפיפיט 118, 114  
 אפקט החממה 95  
 הגברה 141, 95, 94, 57  
 הקטנה 153  
 אצה/אצות 141, 115, 114, 95, 82, 81, 78, 76, 71, 52, 49  
 אקלום (בחקלאות) 158-157  
 ארגון היררכי 101  
 ארגון חברתי 102



בועית מתכווצת 48  
 ביומסה 132, 131, 84, 83  
 ואנרגיה 84  
 ביוספירה 141, 86, 15  
 ביוץ 156, 53  
 ביות 152  
 ביצי קיימא 28  
 בית גידול 33, 19, 16-15  
 הפרעה ב... 129, 128  
 חדש 128  
 מים מלוחים כ... 48  
 מימי 56, 55, 47-46  
 קיטוע 141

ATP 174, 170, 90, 89, 78, 54  
 CO<sub>2</sub> ראו: פחמן דו חמצני  
 H<sub>2</sub>S ראו: מימן גופרי  
 NH<sub>3</sub> ראו: אמוניה  
 אבולוציה 135, 116, 20  
 תיאוריית האבולוציה 138  
 אגם ויקטוריה 141, 108  
 אגם החולה 142, 141  
 אדם  
 גידול אוכלוסייה 152-151  
 השפעה על ... ראו: מעורבות האדם בטבע  
 מערכת עיכול 115  
 רמת הזנה 82  
 אוזון 58, 54  
 דלדול 54  
 אוטורופים 171, 114, 79, 78, 77-76  
 כימו-אוטורופים 78, 77  
 כיצרנים 83  
 פוטו-אוטורופים 78, 77  
 אוכלוסייה / אוכלוסיות 119, 75, 15  
 גודל... 131, 122-119, 111-109  
 יחסי גומלין בין... 108-102  
 יחסי גומלין בתוך... 102-99  
 מעמדות ב... 102-100  
 עזרה הדדית ב... 102  
 שינוי ב... 26-24  
 תחרות ב... 100-99  
 אוסמוזה 47  
 אוקיינוסים 140, 89  
 אור (כגורם א-ביוטי) 172, 53-50  
 בסביבה מימית 52  
 השפעות על אורגניזמים 53  
 כאות סביבתי 156, 53  
 כגורם מגביל 118, 52  
 מקור אנרגיה ראו: אנרגיית אור  
 אות סביבתי 156, 53  
 אחידות 86  
 אחסון ושימור, שיטות ל... 159  
 אטום /אטומים 167  
 אטמוספירה 86  
 התחממות ה... ראו: אפקט חממה, הגברה  
 איכות מים, באגמים 95  
 אלולופתיה 118, 106-105

## ד

דגים 122, 112, 108, 56, 49, 47  
 דו-חיים 82, 39  
 דחיקה תחרותית 105  
 דיות (טרנספירציה) 62, 61, 59, 43-41, 38  
 דיפוזיה 58  
 דישון 163, 69  
 דרכי הזנה ראו: הזנה, דרכים  
 דרכי חקירה ראו: חוקרים אקולוגיה  
 דשן/דשנים  
 חנקני 156, 152, 93  
 כימי 156, 155  
 תעשיית 93  
 שימוש מוגבר 95

## ה

האבקה והפצת זרעים 143  
 האבקה, התאמה ל... 116, 112  
 הדברה  
 ביולוגית 161, 143, 155, 123-122, 121, 106  
 כימית 155, 122, 121  
 משולבת 162  
 הדדיות (מוטואליזם) 118, 117-114  
 הדדיות, ומיקרואורגניזמים 115  
 הדדיות, יחסי גומלין נמלים - פטריות 117  
 הומאותרמים (אנדותרמים) 61, 59  
 הומאוסטאזיס 49  
 הזנה, דרכים 76  
 אוטוטרופית 77-76  
 הטרוטרופית 78-77  
 הטלה 157, 156, 53  
 הטרוטרופים 86, 83, 79, 78, 76  
 היבטים אתיים בחקלאות 163  
 הימלטות מטריפה 112-111, 21  
 הכחדה 108  
 הכחדה המונית 135  
 (ה)הכחדה (ה)שישית 140  
 הכחדת מינים 141, 135, 122  
 הכלאות 154  
 המרת (גלגול) אנרגיה ראו: אנרגיה, המרה (גלגול)  
 הנדסה גנטית 159-158, 153  
 הסוואה 111  
 הסכם קיוטו 94  
 הסתגלות והתאמה 20

קרקע כ... 69-68

שינויים ב... 130-127

בעין חקלאית 106, 95, 94, 69, 67, 65, 61, 57, 53, 45  
 ראו פירוט בסוף המפתח 142, 120, 116, 113

## בעלי חיים

איבוד מים ב... 45  
 הפריה פנימית ב... 40  
 הפרשות (שתן וצואה) 95, 84  
 התאמות להימלטות מטריפה 111  
 התאמה לטביבה יבשה 64-54  
 התאמה לטביבה מימית 49-47  
 ברירה טבעית 138, 137, 27, 26, 24  
 והתאמה 27-24  
 ויצירת מינים 106  
 ותחרות באוכלוסייה 100  
 ברירה מלאכותית 158, 157

## ג

גודל אוכלוסייה 131, 121  
 גורמים משפיעים 122-119  
 גורמים תלויי צפיפות 120  
 השפעת טריפה 109-107  
 שינויים 111, 110  
 גומחה (נישה) אקולוגית 103  
 גורם מגביל 18, 19, 99, 121, 154-155 (בחקלאות)  
 אור כ... 118, 52  
 בסביבה יבשתית 39  
 חמצן כ... 55  
 יחס שטח לנפח כ... 60  
 מים כ... 45  
 פחמן דו חמצני כ... 57  
 תנאים ומשאבים כ... 19-17  
 גורמים א־ביוטיים 139, 129, 128, 120, 72-33, 16  
 קשר בין... 66, 63, 57, 55, 37, 36  
 וגורמים ביוטיים, השפעה הדדית 140, 17  
 גורמים ביוטיים 139, 120, 95-75, 17  
 השפעתם על גורמים אביוטיים 68, 65, 63, 57, 17  
 גורמים תלויי צפיפות 120  
 גז חממה 57, 56, 17 ראו גם: אפקט חממה  
 גיאופיטים 52, 44-43  
 גלגולי אנרגיה ראו: אנרגיה, המרה (גלגול)  
 גרעיני רבייה 144  
 גשם חומצי 141



**חברה 75, 15**  
 ארגון של... 79-78  
 הרכב של... 137, 130-127  
 התפתחות של... 129  
 יחסי גומלין ב... 118-102  
 חד שנתי, צמח 128, 52, 43  
 חד תא 82, 69  
 סנדלית 110, 104, 48  
 חומצות גרעין 90, 86  
 חומצת שתן 46  
 חומר 168-167  
 חומר אורגני / חומרים אורגניים 88, 86, 85, 84, 83, 79, 78, 89, 90, 132, 169-170 ראו גם: תרכובות (פחמן) אורגניות  
 בקרקע 65  
 חומר אנאורגני/חומרים אנאורגניים 86, 78, 75, 63  
 חומרי הזנה בחקלאות 155  
 חומרים אללופתיים 106, 105  
 והדברה ביולוגית 106  
 חוק גנים לאומיים ושמורות טבע 145  
 חוק שימור אנרגיה 174-173  
 חוקרים ומדענים ראו פירוט אחרי האינדקס  
 חוקרים אקולוגיה 26, 44, 48, 80, 81, 106, 110, 111, 130 ראו פירוט בסוף המפתח  
 דרכי חקירה 111, 104-103  
 חזזיות 128, 114, 81  
 חיטה 157, 143-142  
 חיטוי סולרי 162  
 חיי שיתוף (סימביוזה) 117-112  
 מיקוריזה 115  
 חיידקים 113, 82, 78, 76, 71-70, 69, 17  
 כימו־אוטוטרופים 77  
 כימוסינתטיים 70  
 כמפרקים 143, 83, 79, 65  
 מקבעי (קושרי) חנקן 154, 115, 93-92, 69  
 פוטוסינתטיים 52  
 חילוף גזים 56, 40  
 חיפוי קרקע 155  
 חיקוי 112, 111  
 חלבונים 90, 86  
 דנטורציה של... 60, 58  
 של עקת חום 61-60  
 חלקיקים, בקרקע 64  
 חממה/חממות 156, 155, 154, 57

**העברת אנרגיה ראו: אנרגיה, העברה**  
 הפצה, גרגרי אבקה, זרעים, פירות 62, 44  
 הפקת אנרגיה 170, 88, 84  
 הפרשות בעלי חיים (שתן וצואה) 162, 95, 84  
 הרכב חברה 137, 131, 130-127  
 השפעה של גורמים ביוטיים על גורמים א־ביוטיים ראו: גורמים ביוטיים, השפעה על א־ביוטיים  
 השפעה הדדית: גורמים ביוטיים וא־ביוטיים 140, 17  
 השבחה ראו: טיפוח והשבחה  
 השפעת האדם ראו: מעורבות האדם בטבע  
 השקיה 163, 155, 154, 69, 67  
**התאמה 27-19**  
 התנהגותית 111, 61, 23  
 וברירה טבעית 27-24  
 וכשירות 21  
 להימלטות מטריפה 111  
 להאבקה 116, 112  
 לטמפרטורות קיצוניות 61  
 למליחות 67  
 לסביבה יבשה 47-40  
 לסביבה מימית 56, 50-46  
 לקליטת אור 52-51  
 לתנועה במים 47  
 מבנה (מורפולוגית) 111, 61, 23  
 סוגים 23-22  
 פיזיולוגית־ביוכימית 111, 61, 57, 23  
 של מבנה עלים 42  
 של מחזור חיים 43  
**התחמקות מתנאים לא נוחים 28-27**  
**התנהגות טריטוריאלית 101-100**



**ויסות טמפרטורה 60-59**  
**ויסות מים ומלחים 49-47**



**זבל אורגני 156, 155, 95, 69**  
**זואופלנקטון 81, 80**  
**זוחלים 100, 82, 59**  
**זיהום סביבה 153, 141, 95, 54, 25**  
**זימים 56**  
**זמינות חנקן 154, 93**  
**זנים מהונדסים 153**  
**זרימת אנרגיה ראו: אנרגיה, העברה**  
**זרע/זרעים (של צמחים) 118, 117, 43, 28**

- חממה, אפקט ראו: אפקט החממה  
 חמצון - חיזור 168  
 חמצן, כגורם אִביוטי 54-56  
 בסביבה מימית 52, 55  
 בקרקע 66  
 כתוצר פוטוסינתזה 54, 55, 76  
 להפקת אנרגיה 54  
**חנקן** 90  
 בקרקע 154  
 זמינות 93, 154  
 מחזור 92-93  
 קיבוע ראו: חיידקים מקבעי (קושרי) חנקן  
**חקלאות 151-164**  
 אורגנית 163  
 אינטנסיבית 152  
 בעל 45  
 בת־קיימא 160-162  
 וסביבה 153, 160  
 מוצרים ושירותים 153  
 ראייה מערכתית 160  
 שיטות 116, 115, 153-155  
 שלחין 45  
 תיירותית 153  
 חרדון 59, 101  
 חרקים 82, 139
- ט**
- "טביעת הרגל האקולוגית" 140-141**  
 טורף/טורפים ראו: טריפה  
 טורפי על 82  
 טחב/טחבים 39, 128  
 טיהור מים 143  
 טיפוח והשבחה 157-158  
 טיפוס הצומח 33-36  
 טמפרטורה (כגורם אִביוטי) 57-58  
 השפעה על תהליכים 58  
 התאמות ל... 61  
 ויסות ... 59-60  
 מיטבית 58  
 קיצונית 61, 70  
 טפטפות 154, 161  
 טפילות 113-114, 118  
 דגירה 114  
 התנהגותית-חברתית 114
- טריטוריאליות 100-101  
 טריפה 107-112, 118  
 השפעה על גודל אוכלוסייה 107-109  
 סלקטיבית 108  
 טרנספירציה ראו: דיות
- י**
- יון / יונים 167  
 יונקות 41  
 יונקים 82, 100, 101  
 יחס שטח לנפח 41, 51, 52, 56, 59-60  
 יחסי גומלין 99-123  
 בין אוכלוסיות 102-118  
 בתוך אוכלוסייה 99-102  
 וסוקצסיה 129  
 מאפיינים 118  
 מעורבות האדם ב... 122  
 קרקע-אורגניזמים 68  
 ייחום 53, 156  
 ים המלח 71  
 יסוד/יסודות (מינרליים) 63-64 (בקרקע), 75, 76, 156, 167  
 יער/יערות 50, 51  
 טרופי 35, 89 (ייצור פוטוסינתטי), 93-94, 118,  
 139, 140, 141  
 התאמה 52  
 כריתה 93-94, 141  
 יערון/יערונים 106-107  
 יצירת (התפתחות) מינים 106, 137  
 יצרנים 79, 82, 83  
 ישראל 27, 36, 71, 80, 135, 141, 144, 145, 146-147
- כ**
- כושר נשיאה 19, 121, 135  
 כימו־אוטוטרופים 77, 78  
 כינרת 80, 141  
 כליה, הומאוסטאזיס 48  
 כריתת יערות 93-94, 141  
 כשירות 102  
 והתאמה 21
- ל**
- לבלוב 53



כסביבת חיים (התאמות) 56, 55, 50-46  
 מחזור ה... 161  
 מטבוליים 168, 45  
 מליחים 67  
 שפירים 161, 67  
 תהליכים בתא ובאורגניזמים 39-38  
 תכונות 38  
 מימן גופרי 78, 77  
 מין/מינים 147, 137  
 פולשים 161, 159, 141  
 אנדמיים 140, 135, 108  
 מספר 146, 139, 138  
 שמירה על 145-144  
 מינרלים 64-63 (בקרע), 75, 76, 156 (בקרע), 167  
 מיקוריזה 115  
 מכרסמים 81, 45  
 מנגרובים 50  
 "מסדרונות" אקולוגיים-גיאוגרפיים 144  
 מספר מינים 146, 139, 138  
 מספר מינים מוכרים 139  
 מספר צאצאים 22-21  
 מעורבות האדם (בטבע) 151, 129, 127, 27, 14, 13  
 ראו גם: אפקט חממה, הגברה; כריתת יערות  
 ביחסי גומלין 123-122  
 במגוון הביולוגי 141-140  
 במחזורי חומרים 95-93  
 במידע הגנטי 158-157  
 בתהליכי רבייה 157-156  
 חקלאות כ... 163-151  
 מעיינות חמים 139, 70  
 מעלי גירה, מערכת עיכול 115  
 מעמדות באוכלוסייה 102-100  
 מערכת אקולוגית 15-16, 33, 70, 75, 87, 88, 127, 137,  
 144  
 אנרגיה ב... 176-175  
 דרכי תיאור 85  
 הפרעה ב... 132  
 מוצרים ושירותים של... 143-142  
 שיווי משקל דינמי 132-131  
 מערכת הדם 39  
 מערכת הובלה 39  
 מערכת הפרשה 48  
 מערכת עיכול, אדם 115  
 מפנים 147, 36  
 מפרקים 83, 79  
 כממחזרים 79



מארג מזון 93, 86, 85, 82-79  
 מבועים חמים 70  
 מגוון ביולוגי 148-135  
 השפעת האדם על... 141-140  
 מגוון גנטי 136  
 מגוון מינים 136, 75  
 מדבור 94  
 מדבר 35  
 מדעי הסביבה 14  
 מהפכה חקלאית 152  
 מהפכה ירוקה 152  
 מהפכה תעשייתית 152  
 מוטואליזם ראו: הדדיות  
 מוצרים ושירותים  
 של חקלאות 153  
 של מערכת אקולוגית 143-142  
 מזון 77, 151, 170-171, 176  
 כמקור אנרגיה 173  
 מחזור גידולים (מחזור זרעים) 155, 154-153, 152, 122  
 מחזורי חומרים 93, 91, 89, 79, 69  
 מחזור המים 58  
 מחזור חנקן 93-92  
 מחזור פחמן 91  
 מחזור חיים 52, 43  
 מחזוריות בגודל אוכלוסיות טורף ונטרף 110-109  
 מחסום ביו-גיאוגרפי 140, 137  
 מי כובד 65  
 מי קולחין 161, 153  
 מידע גנטי 142  
 מיחזור פסולת אורגנית 162  
 מיחזור חומרים 143, 88, 87-86, 69  
 והעברת אנרגיה 90-89  
 ביער 94  
 במשק החקלאי 95  
 מים (כגורם א־ביוטי) 50-37  
 בסביבה יבשתית 40-39  
 הורדת נקודת קיפאון 60  
 התאמות למיעוט/מחסור ב... 46-39  
 ויסות טמפרטורה ע"י... 60, 38  
 ומלחים, ויסות באורגניזמים 49-47  
 זמינים, בקרקע 65  
 כגורם מגביל 45, 39 (בחקלאות)  
 כמגיב בפוטוסינתזה 76  
 כמשאב 75, 45

עושר המינים 139, 136  
 עזרה הדדית באוכלוסייה 102  
 עיכול 79  
 עלים, ארגון והתאמות 51, 49, 42  
 עמידות 158, 71-70  
 לחומרי הדברה 122  
 עשים 26-24



פוטו-אוטורופים 78, 77  
 פוטוסינתזה 176, 90, 43  
 אור כמקור אנרגיה ל... 50  
 במחזור פחמן 91  
 בסביבה מימית 52  
 בעידנים קדומים 88, 57  
 בצמחי CAM 43-42  
 ודיות 41  
 כמקור לחמצן 17  
 כתהליך בנייה 89, 56  
 כתהליך חיזור 168  
 מיחזור חומרים ב... 87  
 סכמה/נוסחה של... 89, 76, 51  
 תוצרים ומגיבים 169, 76, 57, 56  
 פוטופירודיות 157, 53  
 פויקילותרמים (אקטותרמים) 61, 59  
 פונדקאי 113  
 פחמן דו-חמצני (כגורם א־ביוטי) 57-56  
 במחזור פחמן 91  
 כגז חממה 141, 57  
 כגורם מגביל 57  
 מגיב בפוטוסינתזה 56  
 ריכוז באטמוספירה 94, 93, 56  
 תוצר נשימה 56  
 פחמן, מיחזור 87  
 פטריות 78, 69, 17  
 יחסי גומלין של... 117, 115, 114, 113, 105  
 פיוניות 57, 43, 42-41, 40  
 פיטופלנקטון 81, 80  
 פיקוס חונק 118  
 פירמידה אקולוגית 79, 85-82  
 של ביומסה 84-83  
 של מספרים 85-84  
 פיתוח בר־קיימא 145  
 פלישת מינים 141, 129

מצעים מנותקים 155  
 מרקם, קרקע 64  
 משאב/משאבים 121, 99, 75, 19-17  
 משאבי טבע 160  
 ניצול יתר של... 141  
 קרקע כ... 69  
 משקעים, כמות 147, 35-34  
 מתאן 162, 136, 132, 95, 78, 77, 17



נביטה 53, 43  
 נגב, מארג מזון 81  
 נדידה 147, 62, 53, 27  
 נדידת יבשות 137  
 ניצול יתר (משאבים) 141  
 ניצני התחדשות 111, 43  
 נמלה חקלאית 116  
 נמלת הקציר 117  
 נקודת כמישה 66-65  
 נשימה תאית 170, 90, 88, 87, 79, 78, 76, 57, 54, 45  
 176  
 במחזור פחמן 91  
 ומים מטבוליים 45  
 כתהליך חמצון 168  
 מקור ל- $CO_2$  57  
 סכמה/נוסחה 90, 54  
 נשימה, חילוף גזים 56, 40



סביבה  
 השפעת החקלאות 159  
 התאמות לסביבות שונות ראו: התאמה ל...  
 זיהום... 153, 141, 95, 54, 25  
 יבשתית 39  
 מימית 39, 37 (ורבייה), 47-46  
 תנאים קיצוניים 71-70  
 סביבה פנימית 49, 40, 37  
 סוקצסיה 137, 132, 130-128  
 סימביוזה 118, 117-112  
 סנדלית 110, 104, 48  
 ספיגה חוזרת, במעי ובכליה 46



עופות 102, 101, 100, 82, 27 ראו גם: נדידה

תת־אדומה 50  
 קרינת חום 57  
 קרינת שמש 88, 57, 36, 33 (כמקור אנרגיה ראשוני), 172  
**קרקע** (כגורם א־ביוטי) 69–63  
 אורור 66, 65  
 היווצרות ... 143  
 ומחזור החנקן 92  
 חומציות... 67  
 חומר אורגני ב... 65  
 חיפוי 155  
 חלקיקים 66, 64  
 חמצן ב... 66  
 כבדה/קלה 66–65  
 כבית גידול 69–68  
 כמשאב 155, 69  
 מים ב... 66–65  
 מיקרואורגניזמים ב... 69  
 מליחות 67  
 מרכיבי ה... 66–63  
 מרקם 64–63  
 פוריות 154, 94, 69



**רבייה, ויסות תהליכים** 157–156  
**רבייה, תאי מין** ראו: תאי מין  
**רוח** (כגורם א־ביוטי) 62–61  
 השפעה על אורגניזמים 62  
**ריכוז חמצן, התאמות בסביבה מימית** 56  
**רמות ארגון** 15, 75, 136–137  
**רמות הזנה** 85–82  
 וביומסה 84  
**רקבובית** 68, 65  
**רקמות אורור בצמחים** 50



**שבעת המינים** 146, 45  
**שונות** 25–26, 137, 138 (ואבולוציה), 157 (וברירה מלאכותית)  
**שונית אלמוגים** 140  
**שורשים** 66, 41  
**שיווי משקל דינמי** 131–132  
**שיטות אחסון** 159  
**שיטות בחקלאות** 116, 115, 153–155  
**שימור אנרגיה, חוק** 173–174

**פעולות חיים** 171, 88, 75  
**פקעיות חנקן** (בשורשי קטניות) 115, 93, 69  
**פרט / פרטים** (באוקלוסייה) 137, 75  
**פריחה** 156, 53  
**פריחת אצות** (ריבוי אצות) 141, 95



**צומח ים־תיכוני** 35  
**ציפורים** ראו: עופות  
**צמח/צמחים**  
**איבוד מים ב...** 43–41  
**אפיפיטים** 114  
**גרגר אבקה** 40  
**הפריה** 40  
**הפרשת חומרים אללופתיים** 106–105  
**התאמות בצמחי צל** 52  
**התאמות להימלטות מטריפה** 111  
**התאמות לסביבה יבשתית** 45–41  
**התאמות לסביבה מימית** 50–49  
**התאמות לקליטת אור** 51  
**חומרי הגנה ואזהרה** 111  
**טיפוסי הצומח** 36–33  
**צמחי CAM** 42  
**צמחי מים** 56, 50–49  
**צמחים טפילים** 113, 82  
**צומח ים־תיכוני** 35  
**רקמות אורור ב...** 50  
**צרכנים ראשוניים ושניוניים** 82, 79–78



**קו המשווה** 139, 33  
**קוטיקולה** 49, 42, 40  
**קוטלי עשבים** 154  
**קומנסליזם** 118, 114  
**קומפוסט** 162, 95  
**קוקיה** 114  
**קושרי חנקן, חיידקים** ראו: חיידקים מקבעי (קושרי) חנקן  
**קטניות** 154, 93  
**פקעיות שורש** 115, 93, 69  
**קיבול שדה** 66–65  
**קיטוע בתי גידול** 141  
**קיימות** 145  
**קרינה**  
**על סגולה** 58, 54, 50



תא / תאים	89, 71, 58, 38, 37, 15
תאי מין (גמטות)	40-39
תאוריית האבולוציה	138
תהליכי רבייה, ויסות	157-156
תחרות	
באוכלוסייה	102-99
בחקלאות	161
בין מינים	107-102
דחיקה תחרותית	105
הפרעה	118, 102-100
ניצול	118, 100
על אור	52-51
תיבות קינון	121
תיירות אקולוגית	153, 143
תנאים ומשאבים	102, 19-17
תחרות על...	102
תנאים א־ביוטיים סביבה, תנאים קיצוניים	
תנשמות ונברנים	121
תעלת סואץ	141
תערובת ותרכובת	167
תפוצה	14
תרדמה	43, 28
תרדמת חורף	28
תרכובות (פחמן) אורגניות	170, 169, 91, 78, 76, 75
תרכובות (פחמן) אורגניות, כמקור אנרגיה	170
תרכובת ותערובת	167
תרמודינמיקה, חוקים	173

#### מפתח (לפי א-ב עברי) לשמות חוקרים ומדענים

שם	עמוד	נושא
אהרונסון	143	גילה את "אם החיטה"
גאוס	104	דחיקה תחרותית
גאוס	110	מחזוריות בגודל אוכלוסיות טורף ונטרף
דרוין	138	תיאוריית האבולוציה
הבר	156, 152	ייצור תעשייתי של אמוניה
הקל	14	הציע את השם אקולוגיה
וואלאס	138	תיאוריית האבולוציה
וולטרה	111	מודל מתמטי לחישוב גודל אוכלוסיות טורף ונטרף
וולר	169	סינתזה של חומר אורגני
לוטקה	111	מודל מתמטי לחישוב גודל אוכלוסיות טורף ונטרף
לינדמן	82	המושג "רמה טרופית" (רמת הזנה)
מלתוס	151	תחזית על קצב גידול אוכלוסיית האדם וקצב ייצור המזון
פסטר	156	גילה את הגורם להחמצת יין וחיסון תרנגולות
קטלול	26	מחקר בעשים באנגליה

שינוי אקלימי 94 ראו גם: אפקט חממה, הגברה

שיקום, נחלים 161

שירותים

של המערכת האקולוגית 143

של החקלאות 153

שירותי האבקה 116

שלוליות חורף 141, 28

שלכת 53

שמורות טבע 144

שמש ראו: קרינה שמש

שפע 14

שרכים 39

שרשרת מזון 80-79

שתן 46

שתנן 46

#### חוקרים אקולוגיה

עשים כהים ובהירים	26
שעון גשם בריסן	44
הפרשת מים בסנדלית	48
מארג מזון בכינרת	80
מארג מזון בנגב	81
יערונים	106
סוקצסיה בהרי יהודה	130
בטבע: טורף-נטרף	110
במעבדה: טורף-נטרף	110
בעזרת המתמטיקה	111

#### בעין חקלאית

מים כגורם מגביל	45
הארת לולים והטלה	53
הגדלת יבול בחממות	57
עומס חום	61
קרקע קלה וכבדה	65
מליחות קרקע	67
עיבוד קרקע	69
כריתת יערות גשם	94
מיחזור חומרים	95
הדברה ביולוגית	106
הדברה	113
שירותי האבקה	116
תנשמות ונברנים	121
צמחי מזון עיקריים	142