

1

מבוא מבט על עולם הצמחים





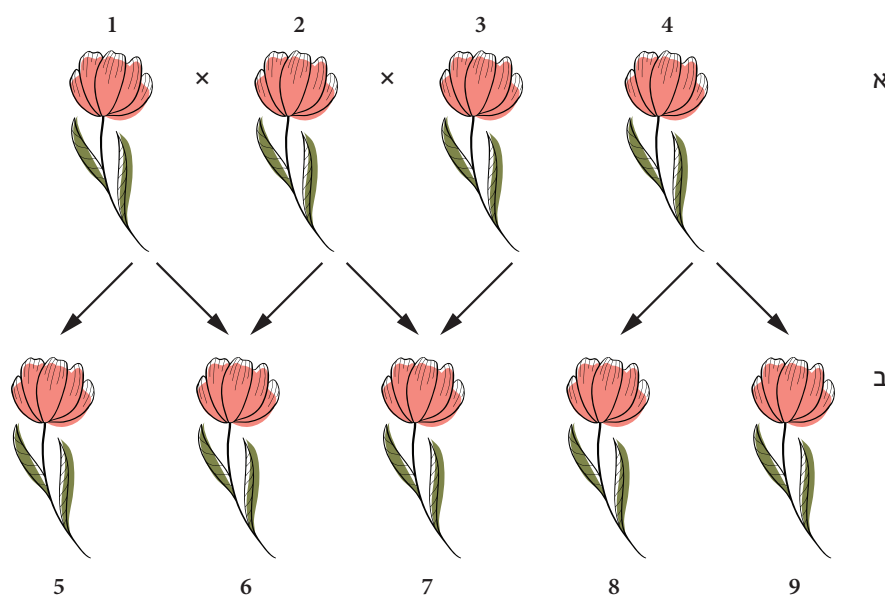
1.1 אבולוציה בעולם הצמחים

את עצמם, אך מקיימים גם האבקה זרה – כלומר אבקה מפרחיו של צמח אחד מאביקה את הביציות שבפרח של צמח אחר (צמחים 1-4, שורה א באיור). כעת נבחן את הקשר בין דור ההורים (שורה א) לבין הדור הראשון של הצאצאים (צמחים 5-9, שורה ב). לפרט 5, לדוגמה, יש הורה אחד בלבד, כלומר, הוא צאצא של פרט מספר 1 בלבד, ונוצר כתוצאה מהאבקה עצמית. פרט מספר 6 נוצר כתוצאה מהאבקה זרה בין פרט מספר 1 לפרט מספר 2. האיור מלמד אותנו, אם כן, על מידת הקרבה בין הפרטים. למשל, פרט מספר 6, שנוצר בהכלאה בין פרט מספר 1 לפרט מספר 2, קרוב יותר לפרטים מספר 5 ומספר 7, שהם אחי-למחצה, מאשר לפרטים מספר 8 ומספר 9, שהם תוצאה של האבקה עצמית של פרט מספר 4 ולכן אין בינם לבין הפרטים האחרים באותו דור שום קרבה.

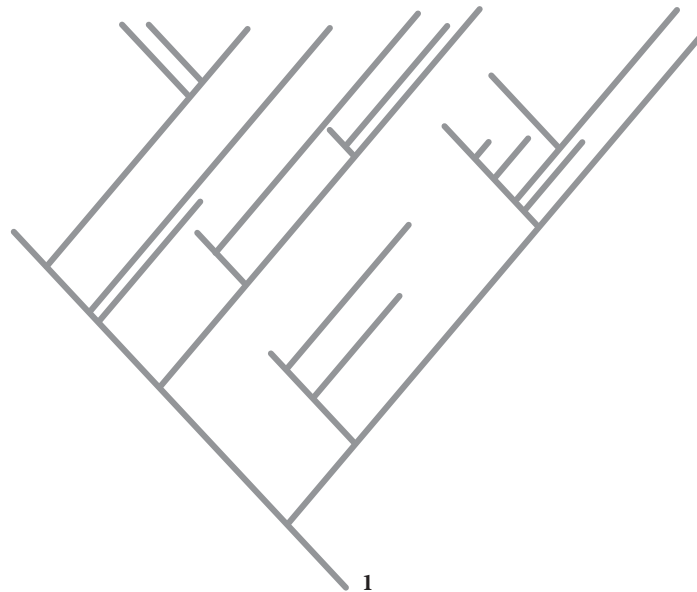
ספר זה מציג בפני הקוראים את עולם הצמחים העשיר והשופע, על המגוון הגדול שבו, מנקודת מבט אבולוציונית. במהלך הקריאה נתוודע הן לקבוצות הצמחים הקיימות כיום והן לקבוצות שנכחדו ולא נותרו מהן אלא שרידים מאובנים. נציג את קשרי המוצא בין קבוצות הצמחים, ונראה מתי התפצלו ונפרדו זו מזו.

הדרך המקובלת לתאר את הקשרים האבולוציוניים בין קבוצות צמחים, או בין קבוצות של יצורים חיים בכלל, היא בעזרת אילנות יוחסין המכונים "עצים פילוגנטיים". ככל שהקבוצות קרובות יותר זו לזו, כך נמקם אותן בנקודות קרובות יותר על ה"עץ".

כדי להבין מה מתאר עץ פילוגנטי (phylogenetic tree), נתאר מצב היפותטי בהיסטוריה הרחוקה שבו ארבעה צמחים ממין מסוים גדלים יחד בשדה (איור 1.1). הצמחים הם בעלי כושר האבקה עצמית, כלומר מסוגלים להאביק



איור 1.1 תרשים של ראשית התהליך המביא להיווצרות שושלות ביחידה טקסונומית.



איור 1.2 דוגמה כללית לעץ פילוגנטי. החץ שמשמאל מציין את הזמן, מן העבר הרחוק שבתחתית האיור ועד ימינו - בראש האיור. לכל הקבוצות המתוארות בעץ זה היה אב קדמון אחד, משותף (מצוין בספרה 1). במהלך האבולוציה התפצלו מן האב הקדמון הזה שושלות אחדות. כמה מהן נכחדו ואין להן צאצאים חיים בימינו; אנו יודעים על קיומן בעבר רק הודות למאובנים. שושלות אחרות המשיכו להתקיים ולהתפצל, וכמה מהמינים השייכים אליהן עודם קיימים כיום.

הובילו להתמיינות ולהיווצרות של מינים חדשים. תיאור זה של עולם הצומח מקורו בהשערות על זהותם של היצורים הקדומים ביותר, של היצורים שהתפתחו מהם וכן הלאה, עד לצמחים המוכרים לנו כיום מסביבתנו. השערות אלו מבוססות על המבנה של התאים, של הרקמות ושל הצמחים השלמים, כפי שאפשר ללמוד עליהם מצמחים חיים וממאובנים מתקופות גיאולוגיות קדומות. לפי עקרונות הטקסונומיה שהייתה נהוגה עד לפני כשלושים שנה, ואשר נהוג לכנותה הטקסונומיה הקלאסית, אנו ממינים את הצמחים על פי המבנה שלהם, על פי הקשרים האבולוציוניים ביניהם ועל פי אזורי תפוצתם ברחבי העולם, באופן המשקף את ההשערות לגבי קשרי המוצא האבולוציוניים ביניהם. לשם כך אנו מביאים בחשבון טווח רחב של נתונים, החל ממבנה התאים, האיברים והרקמות של הצמחים ועד לאזורי תפוצתם הטבעיים. מקום חשוב שמור למבנה איברי הרבייה של הצמח, ובהם הפרחים בצמחים העילאיים ואיברי רבייה אחרים בקבוצות כגון אצות, טחבים ושרכים. בעשורים האחרונים השתלבו בשיקולים הטקסונומיים גם הבדלים בין רצפי ה-DNA של הצמחים. בכך השתנתה השיטה הטקסונומית לשיטה הנהוגה כיום, הנקראת טקסונומיה מולקולרית.

כדי לשחזר את התהליכים האבולוציוניים שחלו בעבר, עומדות לרשותנו רק העדויות הקיימות בהווה ובהן היצורים החיים כיום ושרידי המאובנים של יצורים

כעת תארו לעצמכם שאנו מסתכלים לא רק על ארבעה פרטים אלו, אלא על כל הפרטים בכלל האוכלוסיות של מין מסוים שהיו קיימים ברגע אחד בעבר הרחוק, ובונים את כל שושלות היוחסין המובילות מן הפרטים ההם אל הפרטים מאותו מין הקיימים בימינו. איור 1.1 הוא פשוט יחסית, כיוון שהוא מתאר מספר קטן של פרטים בשני דורות בלבד; אם נרחיב את התיאור לכל הפרטים במספר גדול יותר של דורות, נקבל רשת קשרים סבוכה הרבה יותר, שהרי לכל פרט יכולים להיות הורה אחד או שניים בדור הקודם, וכמה צאצאים בדור הבא. אם נתבונן בקשרים בין פרטים לאורך מאות ואלפי דורות, נקבל מספר עצום של קווי שושלות המסתבכים ומצטלבים זה עם זה. עץ פילוגנטי הוא דרך מפשטת להציג את המידע הרב הזה. לדוגמה, העץ הפילוגנטי ההיפותטי המתואר באיור 1.2 מתאר את תולדותיה של שושלת אבולוציונית החל מבסיס הגזע, המייצג אוכלוסייה קדומה, ועד ימינו. הקבוצה המתוארת באיור התפצלה לכמה שושלות שונות, שמקצתן נכחדו (ואנו מכירים אותן, כנראה, רק הודות למאובנים), ואחרות עודן קיימות גם כיום.

על פי הסברה המקובלת, המגוון הביולוגי העצום של עולם הצומח כיום מקורו בשורת אירועים אבולוציוניים של שינויים בתכונות היצורים, הקשורים ברובם לשינויים שחלו בתנאי הסביבה. כלומר, המגוון הביולוגי הקיים כיום נוצר בעקבות שינויים שהתרחשו בבתי הגידול, ואשר

שונים, התמיינות אקוטופית עשויה להוביל להתמיינות ליחידות טקסונומיות נפרדות. כדוגמה לכך אפשר להביא תהליכים אבולוציוניים של התמיינות כתוצאה מבידוד גיאוגרפי ותהליכי גיוון אדפטיבי (adaptive radiation). במקרים רבים, התאמה של אוכלוסיות לאזורי המחיה שלהן הובילה להתמיינות שלהן לכמה מינים אנדמיים (endemic species), כלומר מינים שתפוצתם מוגבלת אך ורק לאזור מסוים. מכיוון שמוטציות, כלומר שינויים אקראיים בחומר הגנטי, מתרחשות בקצב קבוע למדי, אפשר להשתמש בהן כמעין "שעון מולקולרי" למדידת הזמן שחלף מאז ההיפרדות בין קבוצות, וכך לשפוך אור על הקשרים הפילוגנטיים ביניהן. זוהי שיטת הטקסונומיה המולקולרית (molecular taxonomy), וחסרונה – שאינה מתאימה לקבוצות שנפרדו זו מזו לפני זמן קצר יחסית. יתרונה של הטקסונומיה המולקולרית הוא במקרים שבהם תהליכי הגיוון האדפטיבי הביאו ליצירת הבדלים מורפולוגיים (הבדלי צורה) מובהקים בין קבוצות שחיו בבתי גידול שונים, אך עדיין לא הביאו לדיפרנציאציה גנטית חזקה ביניהן. לפי הטקסונומיה הקלאסית, היה נהוג לסווג קבוצות כאלה כמינים נפרדים, בשל ההבדלים המורפולוגיים ביניהן; אך למרות הבדלי הצורה, קבוצות אלו עדיין שייכות לאותו מין, ותיכתנה ביניהן הכלאות פוריות. הטקסונומיה המולקולרית הביאה תועלת רבה גם במקרים הפוכים: היא סייעה בגילוי מינים חבוים (cryptic species), שיש ביניהם הבדלים גנטיים ניכרים, אך הדמיון החיצוני ביניהם הביא בעבר לסיווגם כמין אחד.

יתרון נוסף של טקסונומיה המבוססת על שיטות מולקולריות על פני טקסונומיה קלאסית הוא בטכניקה שאינה מבוססת על הנחות מוקדמות של הטקסונום. הטקסונומיה המולקולרית משרטטת את "עץ החיים" (אילן היוחסין של הקבוצה) על פי עצים פילוגנטיים המבוססים על הבדלים בין היצורים בקטע DNA אחד או יותר.

הבוטנאי הצרפתי אוגוסטין אוז'יה (Augustin Augier, 1825–1875) הוא הראשון שפרסם, בשנת 1801, איור של "עץ חיים" המתאר קשרים בין קבוצות של צמחים. בספרו *Arbre Botanique* עמד אוז'יה לראשונה על חשיבות תכונות המבנה של חלקי הפרח בקביעת הזהות הטקסונומית. אוז'יה תיאר בספרו בפירוט רב כיצד הרכיב את עץ החיים, והדגיש את הקשרים שבין קבוצות שונות, מהאורגניזמים ה"ירודים" שבבסיס הגזע ל"מושלמים" שבקצוות. מעניין

שנכחדו. חשוב לזכור שרצף המאובנים אינו שלם ומסודר, כי לא כל קבוצת צמחים השאירה אחריה מאובנים ברורים. לפיכך יש השערות שונות על סדר הקשרים האבולוציוניים בין קבוצות הצמחים. התחום המדעי הנקרא מיון (או סיסטמטיקה) של צמחים עבר תמורות רבות במהלך השנים, ועדיין לא כל החוקרים מסכימים ביניהם על מיון אחיד. ההתפתחויות הטכנולוגיות בתחום הביולוגיה המולקולרית במשך העשורים האחרונים, ובפרט האפשרות לקבוע רצפי DNA ולהשוות ביניהם, חוללו מהפכות רבות בתחום זה, והביאו לשינויים רבים במיון הצמחים בהשוואה לשיטות המוקדמות, שהיו מבוססות רק על מבנה הצמחים ועל תפוצתם ברחבי העולם. לכן אנו מוצאים בספרות שיטות שונות של מיון הצמחים.

במחקר טקסונומי ואקולוגי, מקובל להוכיח שמקורה של תכונה כלשהי הוא בהתאמה אדפטיבית כתוצאה מתהליך של ברירה טבעית. הדרך לעשות זאת היא השוואה בין מינים קרובים מבחינה סיסטמטית, או בין פרטים מאוכלוסיות שונות של אותו מין שמקורן בסביבות חיים שונות. אם משווים בין אוכלוסיות של אותו מין אשר חיות בסביבות שונות, אפשר לשער כי ההבדלים ביניהן, כלומר השונות הפנוטיפית התוך-מינית, משקפים שונות גנטית הנובעת מהתאמה לתנאים האקולוגיים המקומיים. התמיינות מסוג זה נקראת התמיינות אקוטופית (ecotypic differentiation). לא במקרה, תופעת ההתמיינות האקוטופית אופיינה לראשונה בצמחים בעלי תפוצה רחבה. החוקר השבדי גטה וילהלם טורסון (Göte Wilhelm Turesson, 1892–1970) הוא שהדגיש לראשונה את חשיבותם של תנאי הסביבה בהתבססות שונות פנוטיפית במינים שונים בעלי תפוצה רחבה באירופה.

בשנת 1936 הרחיבו ג'יימס וילי גרגור (James Wyllie, 1900–1980) ואחרים את המונח אֶקוֹטיפ (ecotype) לאוכלוסיות שמחסומים אקולוגיים אינם מאפשרים מעבר גנים ביניהן, ואשר נבדלות זו מזו במאפיינים כמותיים ניתנים למדידה של הצורה, המבנה והפיזיולוגיה של גופן. וכך עולה השאלה: האם התמיינות אקוטופית, כלומר הצטברות הבדלים בין אוכלוסיות שונות של אותו המין, יכולה להוביל להתמיינות טקסונומית – כלומר להפיכת האוכלוסיות האלה למינים שונים? ואם כן – כיצד?

מקובל להניח כי כאשר קיימים מחסומים מוחלטים המונעים זיווגים בין פרטים מאוכלוסיות של אקוטיפים

המגוון העצום של עולם הצמחים הוא אחד ההיבטים המרתקים ביותר של מדע הבוטניקה. שלל הצורות משקף את התאמת הצמחים לסביבת חייהם, ונובע מתהליכים אבולוציוניים שאפשרו לצמחים ליישב כל מקום על פני כדור הארץ שחיים יכולים להתקיים בו. מדע הבוטניקה שואף להבין את פשר הרבגוניות בעולם הצומח בהקשרה הסביבתי וההיסטורי. כדי להתמצא בעולם העצום של הצמחים, נדרשת בראש ובראשונה שיטה למיון ולסידור מדעי של כלל מיני הצמחים בעולם.

1.2.1 סיסטמטיקה וטקסונומיה

המדע העוסק במיון אורגניזמים לקבוצות ביולוגיות נקרא סיסטמטיקה (systematics). בסיסטמטיקה ממינים את עולם הצמחים לקבוצות ששמן טקסונים (taxa, ביחיד טקסון, taxon). "טקסון" הוא שם כללי לקבוצת מיון, והוא יכול לציין זן בודד, מין, סוג, משפחה וכן הלאה, עד לממלכה שלמה, כגון ממלכת הצמחים. הענף בסיסטמטיקה העוסק בתיאור טקסונים ובכינויים בשמות נקרא טקסונומיה (taxonomy).

מהו מין ביולוגי?

יחידת הבסיס למיון אורגניזמים, ובהם צמחים, היא המין (species). ההגדרה הבסיסית למין ביולוגי (biological species) היא "קבוצת פרטים בעלי מראה דומה, המסוגלים להתרבות זה עם זה ולהעמיד צאצאים פוריים". אולם הביולוגיה הרבייתית של רוב הצמחים בתבל איננה מוכרת למדע, ולכן כיום אנו משתמשים בהגדרות חלופיות או חלקיות של מין לצורך מיון צמחים. כך למשל אנו משתמשים במונח מין מורפולוגי (morphological species), שהגדרתו מתבססת אך ורק על מראה דומה, או מין פילוגנטי (PSC, Phylogenetic Species Concept) שהוא הגדרה של מין כקבוצת פרטים בעלי מאפיין משותף אחד לפחות שמייחד אותם מקבוצות אחרות. מאפיין זה צריך להיות מוֹנָשׁ גנטית (תורשתית), ועל כן משתמשים כיום ברצפים של DNA, העוברים כמובן בתורשה, כמאפיין לצורך הגדרה פילוגנטית. המין הוא קבוצה מונופילטית (monophyletic) של פרטים, כלומר כולם הם צאצאיו של אב קדמון כלשהו שאיננו מוכר לנו. הראיה למוצא המשותף היא המאפיין הגנטי המשותף לכל הפרטים בקבוצה המוגדרת כמין.

לציין כי צמחים "מושלמים" היו בעיניו צמחים בעלי כל חלקי הצמח: שורש, גזע, גבעול, עלה ופרח. כמו כן, "מושלם" ציין את המספר הגדול יותר של עלי גביע וכתרת, אבקנים ושחלות. אוז'יה סבר שעץ חיים כזה יוכל לשמש גם כמגדיר לזיהוי מינים בלתי ידועים. כשנה מאוחר יותר, השתמש חוקר הטבע ז'אן בפטיסט למארק (Jean-Baptiste Lamarck, 1744–1829) בעץ חיים לתיאור של ממלכת בעלי החיים. וכחצי מאה אחר כך פיתח צ'רלס דארווין (Charles Robert Darwin, 1809–1882), בספרו **מוצא המינים** (1859), את הרעיון של עץ החיים כדי לשפוך אור על תהליך ההתמיינות בטבע. דארווין הוא שהציג את הרעיון המקובל כיום בתחומי הטקסונומיה והאבולוציה, של תכונות הומולוגיות ביצורים שונים שמוצאן מאב קדמון משותף. שנים מספר אחר כך טבע חוקר הטבע הגרמני ארנסט הקל (Ernst Haeckel, 1834–1919) את המונח "פילוגנטיקה", המציין את הקשרים הגנטיים בין יצורים ממינים קרובים.

עם התפתחות הכלים המחקריים, התפתח גם המחקר הפילוגנטי. בראשיתו הסתמך מחקר זה על מאפיינים מורפולוגיים והתפתחותיים, ואילו כיום הוא מתבסס על פיזיולוגיה ועל ביוכימיה, ובעשרות השנים האחרונות – על רצפי החומצות האמיניות המרכיבות את החלבונים ועל רצפי הבסיסים המרכיבים את מולקולות ה-DNA. נמצא אפוא כי אפשר להרכיב עצים פילוגנטיים על סמך תכונות שונות: מורפולוגיות, פיזיולוגיות/ביוכימיות, גנטיות והתפתחותיות – כשבצמחים משמשים לכך בעיקר השוואת רצפי DNA וחלבונים ומבנה הפרח והפרי.

1.2 מיון עולם הצמחים

מספר מיני הצמחים בעולם איננו ידוע, אך הוא מוערך ב-400 אלף עד מיליון. עולם הצמחים מגוון להפליא: בימים ובאגמים יש אצות חד-תאיות, שאפשר לראותן רק באמצעות מיקרוסקופ, ולעומת זאת אצות מאקרוסקופיות רבות, שגודלן מסנטימטרים אחדים ועד כמה עשרות מטרים. גם ביבשה, טווח הממדים של צמחים הוא מתא יחיד ועד לעצי הסקוויה הענקיים, שגובהם יותר ממאה מטרים. הצמחים מגוונים ביותר גם בצורתם, מעשבים זוחלים ועד דקלים זקופי קומה, מטפסים, צמחים התלויים מצמרות עצים אחרים וצמחים טפיליים תת-קרקעיים, שאפשר להבחין בהם אך ורק בעת פריחתם.



איור 1.3 מינים השייכים לאותו הסוג. מימין: רקפת מצויה (*Cyclamen persicum*). משמאל: רקפת יוונית (*Cyclamen coum*).

חלקי צמח מיובשים המאוחסנים באוסף צמחים מיובשים (herbarium) או איור מדעי של הצמח. למשל, אם חוקר מוצא צמח, עורך בדיקה מדעית יסודית וקובע כי הוא לא תואר עדיין, הוא יכול לתארו כמין חדש למדע (species novum) ולקרוא לו בשם שיבחר, כל עוד הוא עומד בכללי הקוד הבינלאומי למתן שמות לצמחים.

שם מדעי של מין (scientific name) בנוי משתי מילים ונקרא גם שם כפול (binomen). המילה הראשונה היא שם הסוג והמילה השנייה היא שם תואר (epithet), המבדיל מין זה משאר המינים באותו סוג. למשל, הסוג (*genus*) הקרוי *Cyclamen*, רקפת, כולל כמה מינים שונים. שמו של כל אחד מהמינים האלה מורכב משם הסוג *Cyclamen* בתוספת שם תואר: המין *Cyclamen persicum* הוא הרקפת המצויה, השכיחה בארץ ונפוצה מאוד באזורי המרכז והצפון, ואילו המין *Cyclamen coum* הוא הרקפת היוונית, צמח נדיר מאוד בישראל הגדל באתרים מעטים בגליל העליון. שני מיני הרקפת שבאיור 1.3 הם דוגמה למינים השייכים לאותו סוג (congeneric species).

כמה מינים הקרובים זה לזה מקובצים יחד לסוג (genus, וברבים genera). למינים השייכים לאותו סוג – אף אם הם חיים בבתי גידול שונים – יש בדרך כלל תכונות מורפולוגיות דומות המייחדות אותם ממינים השייכים לסוגים אחרים. שיטות הטקסונומיה המולקולרית שנכנסו לשימוש בעשורים האחרונים הביאו לשינויים בשיוך של מינים לסוגים ולהגדרתם של מינים חדשים. זאת תוך פיצול סוגים קיימים והגדרת סוגים חדשים, או לחלופין איחוד מינים שהיו משויכים לכמה סוגים לסוג אחד.

כדי ליצור שפה משותפת לקהילה המדעית הבינלאומית, יש חשיבות רבה לזיהוי מיני צמחים באמצעות שם מדעי ייחודי לכל מין. הקוד הבינלאומי למתן שמות צמחים (International Code of Botanical Nomenclature) הוא שורת כללים למתן שמות מדעיים לצמחים. הכללים העיקריים הם: שם מדעי של צמח ניתן לו בפרסום בספרות המדעית; על הפרסום לכלול תיאור של הצמח ושל מקום גידולו; ועליו להתייחס לדוגמת אבטיפוס (type specimen) של הצמח. דוגמת האבטיפוס יכולה להיות



איור 1.4 נציגים של מינים השייכים לסדרת השפתניים. מימין: מרווה משולשת (*Salvia fruticosa*). משמאל: קוציץ סורי (*Acanthus syriacus*).

אחד בלבד). עם אלה נמנית, לצד משפחת השפתניים, גם משפחת הקוציציים (*Acanthaceae*). החלוקה הטקסונומית שתיארנו היא חלוקה על סמך מאפיינים מורפולוגיים, אשר מאוששת גם על ידי מאפיינים של רצפי מולקולות ה-DNA בגרעין התא ובכלורופלסט.

מין, סוג, משפחה וסדרה הם דרגות המיון המקובלות כיום בטקסונומיה. כל הדרגות שמעליהן נקראות באופן כללי "שושלות" (*clades*). למשל, כל הצמחים בעלי הפרחים, המכונים "מכוסייזרע", שייכים לשושלת אחת. שושלת זו נכללת בשושלת העל של הצמחים.

1.2.2 הגיאוגרפיה של הצומח

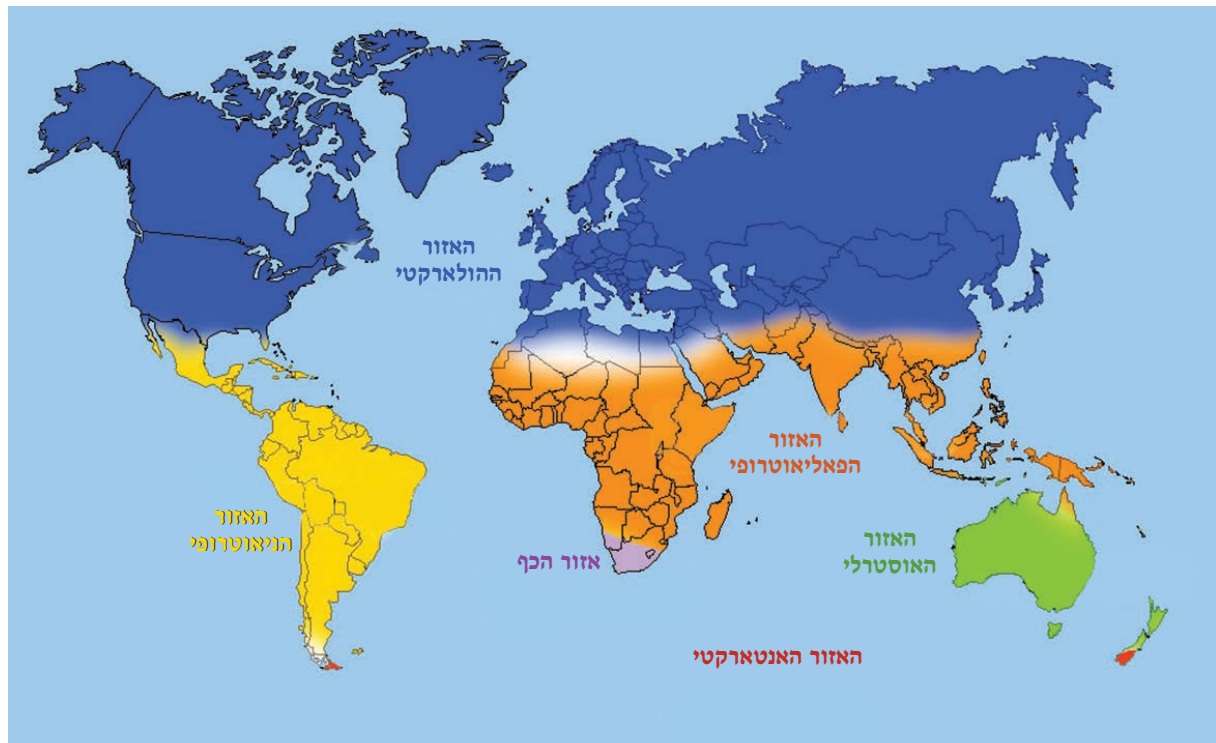
פיזור מיני הצמחים על פני כדור הארץ, כפי שאנו רואים אותו כיום, נוצר בעקבות תהליכים רבים, הן טבעיים והן מעשה ידי אדם. בין התהליכים הטבעיים נמנה, בראש ובראשונה, את התהליכים האבולוציוניים שהביאו להתפתחות של מיני צמחים המתאימים לתנאי הקרקע, האקלים ומשטר המים במקומות שונים. מינים שנוצרו

קבוצות גבוהות יותר: משפחות וסדרות

משפחה (*family*) היא יחידה טקסונומית הכוללת כמה סוגים, שכולם נוצרו במהלך האבולוציה מאב קדמון אחד בלבד. כלומר, משפחה, כמו מין או סוג, היא יחידה מונופילטית, שלכל חבריה יש מקור משותף.

ההחלטה אילו סוגים של צמחים יקובצו יחד למשפחה אחת מתבססת בראש ובראשונה על מאפיינים משותפים גלויים, ובפרט על מאפיינים של מבנה איברי הרבייה. חלוקת הצמחים למשפחות היא סובייקטיבית ואינטואיטיבית למדי, ואינה נעשית לפי קריטריונים קבועים ואחידים, ועל כן קיימות כמה שיטות מיון למשפחות.

המשפחות הדומות מקובצות יחד לסדרות (*orders*). כך, למשל, המין מרווה משולשת (*Salvia fruticosa*) שייך לסוג עתיר המינים מרווה (*Salvia*). סוג זה שייך למשפחת השפתניים (*Lamiaceae*), המתאפיינת בפרחים שכותרתם בעלת שתי שפתיים ובגבעול מרובע. משפחת השפתניים שייכת לסדרת השפתניים (*Lamiales*) (איור 1.4), הכוללת משפחות בעלות פרח זיגומורפי (בעל מישור סימטריה



איור 1.5 מפת אזורי הצומח העולמית לפי ארמן טחטג'אן.

וכן משינויים אקלימיים: התחממות, התקררות, שינויים בכמות המשקעים ובתדירות השריפות ועוד. קבוצה אחרונה של תהליכים המשפיעים על תפוצת הצמחים בעולם הם תהליכים הקשורים בפעילות האדם. ניצול הצומח לצורכי בני האדם, כריתת יערות ושריפתם, השמדת הצמחייה הטבעית בשטחי קרקע והחלפתה בגידולים חקלאיים, העברת מיני צמחים אל מחוץ לתחום תפוצתם הטבעי – כל אלה חוללו אף הם שינויים בהרכב הצומח ברחבי העולם.

הגיאוגרפיה של הצומח, או פיטוגיאוגרפיה (phytogeography), היא תחום מדעי המנתח את ממצאי המאובנים ואת תפוצת הצומח כיום בניסיון להתחקות אחר הגורמים הטבעיים שעיצבו את תפוצת מיני הצומח על כדור הארץ. חוקרים בתחום זה מחלקים את העולם לאזורים בעלי צומח אופייני. החלוקה המקובלת כיום היא על פי שיטתו של הבוטנאי הארמני ארמן טחטג'אן (Armen Leonovich Takhtajan, 1909–2009). שיטה זו, שהציג טחטג'אן בשנת 1986, מציינת שישה אזורי צומח (איור 1.5).

ברחבי כדור הארץ בעבר הרחוק היו אבותיהם הקדמונים של מיני הצומח בני זמננו. ממיקומם של מיני הצמחים הקדומים האלה, ומאופני הרבייה והתפוצה שלהם, נגזרת תפוצתם של הצמחים בני ימינו. כל מין נפוץ מהמקום שבו התפתח אל סביבותיו, בהתאם לכושר התפוצה של יחידות הרבייה שלו. מינים שיחידות התפוצה שלהם – נבגים, זרעים או פירות – קלות ונישאות בזרמי הרוח או המים, יכלו להגיע למרחקים גדולים, ויש שתפוצתם כיום היא כלל-עולמית או קרובה לכך. לעומתם, מינים שיחידות התפוצה שלהם כבדות וצמודות למצע, או מינים המותאמים לבית גידול ספציפי מאוד, עשויים להתקיים גם כיום, אלפי שנים לאחר היווצרותם, בתחום תפוצה קטן המצומצם ליחידה גיאוגרפית אחת. מינים אלה נקראים מינים אנדמיים (endemic species) לאזור מסוים, כגון ארץ ישראל או המזרח התיכון.

נוסף על האבולוציה ותהליכי ההפצה, תפוצת מיני הצומח מושפעת גם מתהליכים גיאולוגיים המעצבים את פני כדור הארץ – כגון נדידת היבשות, עליית שרשרות הרים ואיים ושינויים בשטחי הימים והאוקיינוסים –

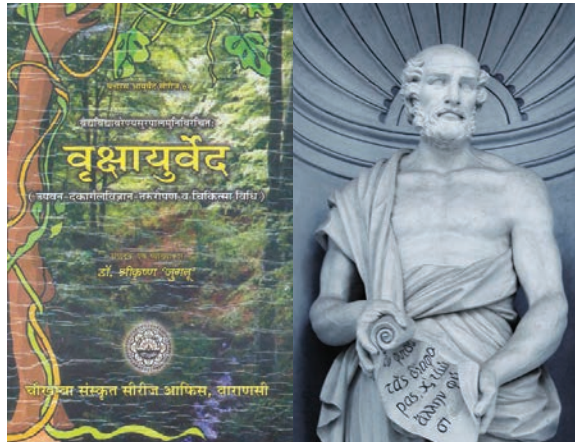
וביערות הגשם האטלנטיים של ברזיל. בדומה לאזור הפאליאורופי, גם האזור הניאורופי הוא מקורם של צמחי תרבות ומזון חשובים, ובהם התירס, תפוח האדמה, העגבנייה, הפלפל והאננס.

5. האזור האוסטרלי כולל את יבשת אוסטרליה ואת האי טסמניה, והוא מתאפיין בעיקר באקלים יובשני. אחד הסוגים האופייניים לאזור זה הוא איקליפטוס (ממשפחת ההדסיים).

6. האזור האנטארקטי כולל את האזורים הממוזגים והקרים של חצי-הכדור הדרומי, קרי ניוזילנד, חלקה הדרומי של יבשת דרום אמריקה וכן איים רבים, ובהם איי סנדוויץ' ואיי פוקלנד.

1.2.3 תולדות מיון הצמחים

ציון הדרך הראשון בהיסטוריה של מיון הצמחים הוא עבודתו של תיאופרסטוס (Theophrastus, 370–287 לפנה"ס), שהיה אחד מתלמידיו של הפילוסוף אריסטו. תיאופרסטוס (איור 1.6 מימין) מיון צמחים לקבוצות על פי קריטריונים של צורה, מקור ושימוש. גם בתרבויות אחרות, מלבד התרבות המערבית, התפתחו שיטות למיון צמחים, כגון השיטה המוצגת בספר "וריקשאירוודה" (Vrikshayurveda) (איור 1.6 משמאל), אשר פותחה



איור 1.6 מימין: פסל של פילוסוף הטבע היווני תיאופרסטוס. משמאל: מהדורה מודרנית של הספר ההודי העתיק "וריקשאירוודה" (Vrikshayurveda).

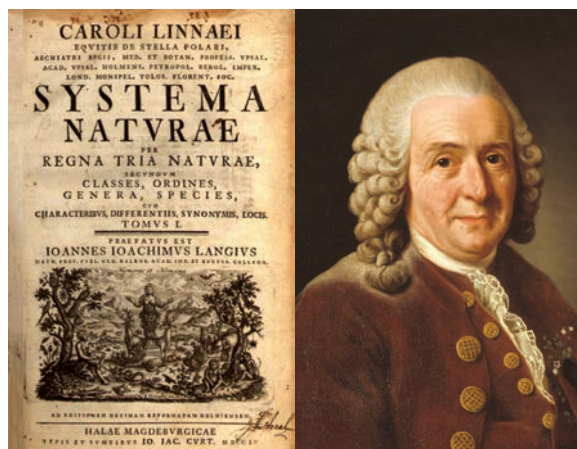
1. האזור ההולארקטי (Holarctic, אזור הקוטב הצפוני), הכולל את כל שטחי היבשה שמן הקוטב הצפוני בערך עד קו רוחב 27 (העובר בדרום סיני). האזור ההולארקטי כולל בין השאר את האזורים הקרים והממוזגים של חצי הכדור הצפוני, את האזור האיראנו-טוראני היבש-למחצה, את אזור הים התיכון ואת מדבריות ערב וסהרה. ארץ ישראל כולה נמצאת באזור ההולארקטי, אם כי ממש בקצהו הדרומי, ולצומח בה יש מאפיינים של האזור הפאליאורופי השכן.
2. האזור הפאליאורופי (Palaeotropic, "הטרופי הישן"), הכולל את הרצועה הטרופית ביבשות אפריקה ואסיה, בערך מקו רוחב 27 צפון ועד קו רוחב 27 דרום. אזור זה כולל טיפוס צמחייה מגוונים, מיערות הגשם של דרום-מזרח אסיה ועד האזורים הצחיחים של מזרח אפריקה. באזור השבר הסורי-אפריקני בישראל, המתאפיין בטמפרטורות גבוהות, קיימים מינים האופייניים לאזור הפאליאורופי, דוגמת דום מצאי (*Hyphaene thebaica*) ושיטה סלילנית (*Acacia raddiana*). מינים אלה נפוצים באפריקה ובאסיה הטרופיות, ואזור השבר הסורי-אפריקני בישראל הוא הגבול הצפוני של תפוצתם.
3. אזור הכף (Cape region) הוא הקטן מבין אזורים הצומח, וכלל שטחו כ-80 אלף קילומטר רבוע בכף המערבי (Western Cape) בדרום אפריקה. אזור זה מתאפיין באקלים ים-תיכוני בעל חורף קריר וגשום וקיץ שחון וחס, בשונה מאקלימה של אפריקה הטרופית. באזור הכף ישנן כמה משפחות אנדמיות (endemic), כלומר משפחות שאינן מיוצגות כלל מחוץ לאזור זה. משפחת הרסטיוניים (Restionaceae), למשל, הקרובה לדגניים, אנדמית לאזור הכף.
4. האזור הניאורופי ("הטרופי החדש") כולל את האזור שבין פלורידה ומרכז מקסיקו בצפון אמריקה, בסביבות קו רוחב 25 צפון, לאגן נהר לה פלטה בדרום אמריקה, בסביבות קו רוחב 35 דרום. אזור זה מתאפיין במשפחות אנדמיות רבות, כגון הצבריים (Cactaceae), הברומליים (Bromeliaceae) ומשפחת כובעי-הנזיר (Tropaeolaceae), אך הוא גם דומה מאוד לפלורה הפאליאורופית, בייחוד של מערב אפריקה. מגוון צומח גדול במיוחד מצוי באגן האמזונס, ברכס האנדים

נותרה כמות שהיא עד ימינו. לפי שיטה זו תיאר לינאוס אלפי מינים, והוא נחשב לאבי הסיסטמטיקה המודרנית. עם התרחבות ידיעותינו על המורפולוגיה (המבנה והצורה) של צמחים, ובהמשך – על הביוכימיה והגנטיקה שלהם, התקבלו שיטות מיון אחרות, מודרניות ועדכניות יותר. אחת מהן היא שיטת קרונקוויסט, שפיתח החוקר האמריקני ארתור ג'ון קרונקוויסט (Arthur John Cronquist, 1919–1992) ואשר הייתה מקובלת בשנות ה-80 של המאה ה-20. שיטה זו התבססה בעיקר על מבנה הפרח.

בסוף המאה ה-20 ובתחילת המאה ה-21 התקבלה שיטת המיון הפילוגנטי של צמחים בעלי־פרחים (APG, Angiosperm Phylogeny Group). שיטת מיון זו מבוססת על ניתוח פילוגנטי מולקולרי ועל מאפיינים מורפולוגיים, כגון צורת התפרחת. בשנת 2009 פורסמה הגרסה השלישית של שיטת מיון זו (APG-III), המקובלת כיום על רוב הבוטנאים.

1.2.4 סיסטמטיקה בת זמננו

הסיסטמטיקה של צמחים שייכת כיום לתחום תולדות עולם הצומח, והיא נעזרת בפילוגנטיקה מולקולרית כדי לעקוב אחר השינויים האבולוציוניים שיצרו את מגוון הצמחים



איור 1.7 קארולוס לינאוס וספרו *Systema Naturae* ("השיטה של הטבע").

בתרבות הודו העתיקה. שיטה עתיקה זו מתבססת על המורפולוגיה (הצורה) של הצמח, ובפרט על מאפייני איברי הרבייה, ובכך היא דומה דמיון רב לשיטות מיון אירופיות של המאה ה-18. בשיטת מיון הודית עתיקה זו זוהו עוד בימי קדם משפחות המקובלות בטקסונומיה המודרנית, כגון מצליבים (Brassicaceae) ודלועיים (Cucurbitaceae).

במשך ימי הביניים (המאה ה-5 עד המאה ה-15 לספירה) קפא המדע במערב על שמריו, ובכלל זה גם מדע הבוטניקה. בראשית תקופת הרנסנס, בעקבות המצאת הדפוס, חלה תחייה במדעי הצמח, ומדענים רבים חיברו ספרים על צמחי תועלת (herbals) ובהם איורים מדויקים אשר תיארו את המבנה המורפולוגי של הצמח באופן אובייקטיבי ומדעי. בין חלוצי הבוטניקה בתקופת הרנסנס ניתן למנות את הביולוג הגרמני ולריוס קורדוס (Valerius Cordus, 1515–1544), שהיה הראשון לסווג תפרחות לפי המבנה שלהן וחקר את מבנה שחלת הפרח. על שמו נקרא הסוג *Cordia* (בעברית עֶרְף, ממשפחת הזיפניים).

במאה ה-17 המציא אנטוני ון לוונהוק (Antonie Philips van Leeuwenhoek, 1632–1723) את המיקרוסקופ, ובכך סלל את הדרך להיכרות מעמיקה יותר עם האנטומיה של יצורים חיים, ובהם צמחים. במאה ה-18 התרחב הידע המדעי על מבנה הצמח ותפוצת הצמחים, וחוקרים רבים הציעו שיטות מדויקות ואוניברסליות יותר למיון צמחים. הביולוג השוודי קארל פון לינא, הידוע גם בשמו הלטיני קארולוס לינאוס (Carolus Linnaeus, 1707–1778), היה הראשון שהעלה את הרעיון של ארגון מיני הצמחים ובעלי החיים להיררכיה של טקסונים, כלומר סוגים, משפחות, סדרות, מחלקות ומערכות, בהתאם לדמיון ולשוני ביניהם. את הרעיון הזה הציג בספרו *Systema Naturae* ("השיטה של הטבע") (איור 1.7). זכרו שספרו זה של לינאוס ראה אור בשנת 1735, כלומר קדם לצ'רלס דארווין ולהוגים ולחוקרים אחרים שהציעו את הרעיון של התפתחות מינים מאבות קדמונים.

לינאוס אף הגה שיטת מיון ומתן שמות שהיא הבסיס למיון צמחים עד ימינו אנו. לפי שיטת לינאוס, כל מין נקרא בשם כפול: שם סוג ושם מין, והצמחים מוינו לפי מספר איברי הרבייה שלהם (אבקנים ושחלות). שיטת המיון השתכללה עם הזמן, אולם שיטת מתן השמות



איור 1.8 מימין: עץ אלון. משמאל: פרי האלון, בלוט; אגוז הנמצא בתוך ספלול.

יש שקבוצה זוהתה כמונופילטית על סמך מאפיינים מורפולוגיים (כלומר לפי המבנה והצורה של הצמחים), ולאחר מכן מתברר כי מקורה בכמה אבות קדמונים שונים. נתבונן, למשל, בסוג שאחד המינים שלו מספק לנו את העלים לסלט הנקראים ארוגולה (רוקט, *Diplotaxis tenuifolia*). הסוג טורכים (*Diplotaxis*) ממשפחת המצליבים מאופיין בתרמיל ובו שני טורי זרעים, ומכאן שמו; ואכן, במשך שנים רבות נחשבו כל המינים בעלי תכונה זו לקבוצה מונופילטית. אך עם התפתחות שיטות המעבדה מתחום הביולוגיה המולקולרית, בדקו חוקרים את ה-DNA של כל הסוגים במשפחת המצליבים, ולא הצליחו להצביע על מאפיינים מולקולריים הייחודיים לכל מיני הטורכים. למעשה, כמה מינים של טורכים קרובים יותר גנטית לסוג צנון (*Raphanus*), שבתרמילו טור אחד בלבד של זרעים, מאשר לצמחים אחרים המשתייכים לסוג טורכים. לפיכך הסוג טורכים איננו קבוצה מונופילטית, אלא קבוצה בעלת כמה אבות קדמונים שונים. קבוצה כזו נקראת קבוצה פוליפילטית.

העצום הקיים כיום. הסיסטמטיקה המודרנית שואפת למצוא התאמה בין קרבה גנטית לבין תכונות מורפולוגיות בעלות ערך אדפטיבי, כלומר תכונות התורמות להתאמת הצמח לסביבתו. בדרך זו ניתן להציע תרחישים היסטוריים המסבירים מתי וכתוצאה מאילו לחצי סלקציה הופיעו קבוצות טקסונומיות שונות על במת ההיסטוריה. חוקרים שואפים להגדיר קבוצות סיסטמטיות כך שכל המינים שבאותה קבוצה יהיו צאצאים של אב קדמון אחד בלבד. קבוצה כזו נקראת קבוצה מונופילטית (*monophyletic group*), קבוצה שלכל חברה מקור משותף אחד). דוגמה לקבוצה כזו היא הסוג אלון (*Quercus*), המתאפיין בפרי מסוג בלוט (אגוז המוחזק בתוך ספלול) (איור 1.8). כל המינים של הסוג "אלון" מתאפיינים באותה צורת פרי, שמקורה באב קדמון שהוריש תכונה זו לכל צאצאיו. גם בדיקה מולקולרית של ה-DNA של מיני האלון ברחבי העולם מראה, כי כל מיני האלונים מתאפיינים ברצפי DNA מסוימים הקיימים רק בהם ולא בשום מין אחר. לכן הסוג אלון נחשב כסוג מונופילטי.

איור 1.9 לפופית כפנית (*Ipomoea cairica*).

בנויים בצורת מפתח דיכוטומי, כלומר הם מציינים תכונה מסוימת ועל הקורא לבדוק אם הצמח נכון בה או לא, ובהתאם לכך להמשיך לשלב הבא של הזיהוי. לצורך ההדגמה, נזהה מין מהסוג לפופית (*Ipomoea*) ממשפחת הִקְבִּלְצִיִּים (Convolvulaceae); הצמח שנגדיר מופיע באיור 1.9. המפתח מורה לנו להתמקד בשני מאפיינים – צבע עלי הכותרת וצורת העלה:

1. צבע הכותרת לבן-צהבהב	לפופית החוף (<i>Ipomoea stolonifera</i>)
2. העלים דמויי לב	לפופית החיצים (<i>Ipomoea sagittata</i>)
העלים מחולקים כעין כף יד	לפופית כפנית (<i>Ipomoea cairica</i>)

בסעיף מספר 1 אנו נשאלים אם צבע הכותרת לבן-צהבהב. התשובה במקרה זה היא "לא", ולכן נמשיך לאפשרות

1.2.5 ספרי טקסונומיה וסיסטמטיקה

פלורה (ספר צומח)

פלורה (*flora*), או "ספר צומח", היא ספר המתאר את כל מיני הצמחים ביבשת, בארץ, במחוז או בכל אזור גיאוגרפי מוגדר אחר. על פי רוב זהו ספר או סדרת ספרים עבי כרס, המספקים מידע מפורט על צורתם ותפוצתם של מיני צמחים וכן מידע מצומצם יותר על קשריהם הסיסטמטיים עם מינים אחרים. הפלורות מאפשרות לזהות באופן מקצועי מיני צמחים מאזור מסוים, ומציגות את הקשיים והאתגרים בהגדרתם. ספרים אלה הם הבסיס להבנת אופן התמיינותן של קבוצות צמחים בהקשר הגיאוגרפי, והם מספקים מידע לסיסטמטיקאים ולפיטוגיאוגרפים, המנסים להתחקות אחר אבני דרך באבולוציה של קבוצות צמחים בנות ימינו. פלורות חשובות למתעניינים בצומח של ארץ ישראל וסביבתה הן "פלורה פלשתינה" (ראו בהמשך), *Flora of Turkey and the Aegean Islands* ("פלורת טורקיה והאיים האגאיים"), *Flore du Liban et de la Syrie* ("פלורת לבנון וסוריה"), ו-*Flora Europaea* ("פלורת אירופה").

מונוגרפיות בוטניות

ספרים הכוללים את כל המידע הבוטני והסיסטמטי על טקסון מסוים (כגון סוג או משפחה), בכל מרחב התפוצה שלו וללא הגבלה לטריטוריה מסוימת, נקראים מונוגרפיות בוטניות (*systematic botany monographs*). מונוגרפיות בוטניות סוקרות בפירוט את כל מרכיבי הטקסון ומציעות חלוקה לקבוצות סיסטמטיות לפי דמיון במאפיינים שונים, תוך התחשבות בפרישה הגיאוגרפית. אחת המונוגרפיות הבוטניות המקיפות שנכתבו בישראל היא של הסוג תלתן (*Trifolium*, ממשפחת הקטניות) מאת דוד הלר ומיכאל זהרי מהאוניברסיטה העברית בירושלים. מונוגרפיה זו סוקרת את כל מיני התלתן בעולם וממיינת את הסוג בן מאות המינים לקבוצות פילוגנטיות.

מגדירי צמחים

מגדירי צמחים הם למעשה מהדורות מקוצרות וקלות לנשיאה של פלורות, המשמשות ככלי להגדרה מהירה של צמחים בשדה, על פי מאפיינים מועטים. מגדירי הצמחים



איור 1.11 מימין: אהרן אהרונסון; משמאל: אלכסנדר איג.

1.3 התיעוד והמיון של צמחי ארץ ישראל

צמחי ארץ ישראל ריתקו חוקרים הן בשל מגוון הצמחים הגדול יחסית לשטחה הצנוע של הארץ, והן בשל זיקתה של ארץ ישראל לתנ"ך. החוקר השוודי לינאוס, שכבר הזכרנו לעיל, חיבר את הספר המודרני הראשון על צמחי ארץ ישראל (*Flora Palaestina*). לשם כך נעזר בתלמידו פרידריך הסלקוויסט (Fredrik Hasselqvist, 1722–1752), מן הבוטנאים המודרניים הראשונים אשר תיעדו את צמחיית ארצנו. בהמשך שטף את הארץ גל של חוקרים; מביניהם, הבוטנאי השווייצרי פייר אדמונד בואסיה (Pierre Edmond Boissier, 1810–1885) ערך את המחקר המקיף ביותר על צמחי הארץ, שאת ממצאיו כינס בספר *Flora Orientalis*. בסוף המאה ה-19, עם התיישבותם של אמריקנים נוצרים בארץ ישראל, הורחבה עבודתו של בואסיה על ידי החוקר גיאורג אדוארד פוסט (George Edward Post, 1838–1909), אשר התמקד בצומח ארץ ישראל והלוונט.

בתחילת המאה ה-20, עם התגברות גלי העלייה של יהודים לארץ ישראל, קמו בארץ בוטנאים עבריים אשר חקרו ותיעדו את צמחיית ארץ ישראל. הראשונים לעשות זאת היו אהרן אהרונסון (Aaron Aaronsohn, 1876–1919) ואלכסנדר איג (Alexander Eig, 1894–1938) (איור 1.11), אשר הקימו אוספי צמחים ארץ-ישראליים, חיברו ספרי



איור 1.10 מימין: פסל ראש של עמנואל לעף; משמאל: ספרו "צמחי היהודים" (*Die Flora der Juden*).

הבאה: צבע הכותרת ורוד עד סגול. תשובה זו מובילה אותנו לסעיף מספר 2. בסעיף 2 אנו נשאלים אם לצמח עלים דמויי לב. התשובה במקרה זה היא "לא", והאפשרות הבאה היא שהעלים דמויי כף יד. בצמח שלפנינו העלים אכן דמויי כף יד, ולכן הגדרתו הנכונה היא זו המופיעה בסוף השורה, לפופית כפנית.

צמחים במקורות היהודיים

בעשורים הראשונים של המאה ה-20 פרסם החוקר היהודי-הונגרי עמנואל לעף (Immanuel Löw, 1854–1944) עבודה מדעית מקיפה, ובה חמישה כרכים, בשם "צמחי היהודים" (*Die Flora der Juden*) (איור 1.10). העבודה מונה את כל הצמחים המופיעים במקורות היהודיים העתיקים – התנ"ך, המשנה והתלמוד – ועל ידי השוואה לשונית וניתוח אתנור-בוטני ("אתנור-בוטניקה" היא חקר השימושים העממיים בצמחים), מנסה לזהות את המין המדעי העומד מאחורי השם המקראי או המשנאי. הספר, שראה אור בגרמנית וטרם תורגם לשפות נוספות, הוא עדיין המקור החשוב והמקיף ביותר בנושא זה.

עשביות

עשבייה (herbarium) היא אוסף של צמחים מיובשים, הנשמרים בדרך כלל על גיליונות לאחר ייבוש ויישור במכש צמחים. העשבייה מאפשרת שימור של חלקי צמחים למטרות מחקר בעלות נמוכה ובחלל מוגבל. בעוד שגנים בוטניים דורשים משאבים רבים לטיפול בצמחים, העשבייה היא מעין ארכיון הפורש בפני החוקר מספר גדול של דוגמאות מטקסון מסוים, שנאספו בזמנים שונים ובאזורים שונים. בדרך זו החוקר לומד על המגוון הקיים באותו טקסון. דוגמת עשבייה נקראת "גיליון עשבייה", והיא מלווה בתווית המציינת את פרטי הצמח והאיסוף.

בנקי גנים

בנק גנים (gene bank) הוא אוסף של זרעים חיים, המשמר ייצוג של המגוון הגנטי של מיני צמחי בר ותרבות. הזרעים מאוחסנים בתנאים מבוקרים היטב, כדי לשמר את יכולת הנביטה שלהם.

1.5 מהם צמחים?

צמחים הם יצורים חיים הממירים אנרגיית אור לאנרגיה כימית בתהליך הנקרא פוטוסינתזה (photosynthesis), בעזרת הצבען הירוק כלורופיל (chlorophyll), המקנה לצמחים את צבעם. הצמחים קולטים אנרגיית אור שמקורה בשמש וממירים אותה לאנרגיה כימית בצורת החד-סוכר גלוקוז (glucose). הגלוקוז מיוצר בפוטוסינתזה מחומרים אי־אורגניים – פחמן דו־חמצני ומים – והוא משמש כחומר מוצא לכל החומרים האורגניים בטבע, המשמשים את היצורים החיים לבנייה ולהפקת אנרגיה. עם אלה נמנים פחמימות פשוטות ומורכבות, שומנים, חלבונים ונגזרותיהם.

היכולת של צמחים לייצר את מזונם מחומר אי־אורגני מייחדת אותם מרוב־רובם של שאר היצורים בטבע, אשר צורכים חומרי מזון אורגני מסביבתם ואינם יכולים לייצר אותם בעצמם. צמחים הם אפוא הבסיס של רובן המכריע של פירמידות המזון בעולם. בני האדם ושאר בעלי החיים תלויים לקיומם בצמחים, אם ישירות ואם בעקיפין.

צומח (פלורות) ומגדירי צמחים, ותרמו תרומה מדעית חשובה לחקר ולמיון של הצומח בארץ ובסביבתה. החל משנות ה־60 של המאה ה־20, נאסף כל המידע על צמחי ארץ ישראל לעבודה רבת־כרכים בשם "פלורה פלשתינה" (*Flora Palaestina*, בלטינית "צומח ארץ ישראל"), המפרטת את כל מיני הצומח של ארץ ישראל. כל צמחי היבשה של ארץ ישראל, ובהם הצמחים חסרי־הפרחים, כבר תועדו ופורסמו במסגרת זו, הכוללת נוסף על כך גם את האצות הצורניות. גרסה דיגיטלית מעודכנת של פלורה זו ניתן למצוא באתר *Tropicos* של הגן הבוטני במיזורי, ארצות הברית, שבו פועל מרכז עולמי לחקר הסיסטמטיקה של צמחים.

1.4 אוספים של צמחים

לאוספי צמחים (plant collections) יש מטרה כפולה: להנגיש לציבור הרחב ולקהילה המדעית את מגוון הצמחים שבטבע, ולשמור על מספר מסוים של צמחים וזרעים למקרה של פגיעה באוכלוסיות הטבעיות. אוספי הצמחים הם למעשה מעין מוזיאון חי, המציג לציבור דגימות של מגוון הצומח. הסוגים המוכרים ביותר של אוספי צמחים הם גנים בוטניים, עשביות ובנקי גנים.

גנים בוטניים

גנים בוטניים (botanical gardens) הם אוספים של צמחים חיים הגדלים יחדיו בחלקת אדמה, ומלווים בהסברים על זהותם ומאפייניהם. הגנים הבוטניים הראשונים הוקמו ביוון העתיקה למטרות הוראה, וכללו בעיקר צמחי מרפא ותועלת. בעת החדשה פתחו הקולוניאליזם והאימפריאליזם ערוצים חדשים לליקוט צמחים מרחבי העולם; בד בבד, התפתחות המדעים הפכה את הגנים הבוטניים למרכזי מחקר לכלל הצמחים, שקבוצות סיסטמטיות שונות זוכות בהם לייצוג נרחב. גם בימינו, כמה מן הגנים הבוטניים הגדולים בעולם הם אבן שואבת לחוקרים בתחום הבוטניקה. עם אלה נמנים הגנים הבוטניים בקיו, אנגליה, בברוקלין, ניו־יורק, בקירסטנבוש שבדרום אפריקה ובריו דה ז'ניירו, ברזיל.

karyon, "גרעין"). זוהי הממלכה הקדומה ביותר, וממנה התפתחו כל שאר הממלכות. החיידקים הם יצורים חד־תאיים זעירים, שמבנה התא שלהם פשוט יחסית. כל תהליכי החיים שלהם מתקיימים בתוך נוזל התא, ללא חלוקה למדורים נפרדים: אין גרעין תא (cell nucleus) ואין אברונים (cell organelles). החיידקים מתרבים על ידי חלוקת התאים ויוצרים מושבות שלעיתים נראות אף לעין בלתי מזוינת. לחיידקים תפקיד אקולוגי חשוב; מרבית מיני החיידקים הם מפרקים (decomposers) של חומר אורגני לחומר אי־אורגני או לחומרים אורגניים פשוטים יותר, ויש להם תפקיד חשוב במחזור חומרים בטבע. יש גם כמה קבוצות של חיידקים יצרנים, ובהן חיידקים בעלי מאפיינים צמחיים הקרויים ציאנובקטריה (Cyanobacteria) או אצות כחוליות (Cyanophyta), המייצרים חומר אורגני בתהליך הפוטוסינתזה.

שלוש הממלכות הנותרות – צמחים, בעלי חיים ופטריות – כוללות יצורים איקריוטיים (eu-) ביונית פירושו "אמיתי" ו־karyon הוא כאמור "גרעין". בציטופלזמה של תאי היצורים האיקריוטיים יש אברונים, העטופים בקרום משלהם. גרעין התא הוא האברון המכיל את החומר התורשתי, ה־DNA (deoxyribonucleic acid); המיטוכונדריה הם האברונים האחראים לנשימה תאית; והכלורופלסטים, הקיימים רק בצמחים ולא בתאי בעלי חיים ופטריות, הם האברונים האחראים לפוטוסינתזה. ההבדל העיקרי בין שלוש הממלכות הוא בדרך ההזנה. צמחים, כאמור, הם יצרנים (primary producers) של מזון בפוטוסינתזה. בעלי חיים הם צרכנים (consumers) של מזון, הקולטים לגופם מזון אורגני בפעולה הנקראת אכילה ומפרקים אותו למרכיבים פשוטים יותר במערכת העיכול. הפטריות, בדומה לרוב החיידקים, הן יצורים מפרקים (decomposers). המפרקים צורכים חומר אורגני אך אינם מעכלים אותו במערכת עיכול, אלא בפירוק חיצוני על ידי הפרשת אנזימים מפרקים לסביבתם וספיחת תוצרי הפירוק לתוך תאיהם.

יצורים איקריוטיים יכולים להיות חד־תאיים או רב־תאיים. כאשר הם רב־תאיים, קל יותר להבחין אם מדובר בצמח, בבעל חיים או בפטרייה. קשה יותר לקבוע לאיזו ממלכה שייכים יצורים איקריוטיים חד־תאיים, ולכן הועלו הצעות לחלוקה אלטרנטיבית של היצורים החיים לממלכות, על פי מאפיינים אחרים.

בתהליך הפוטוסינתזה נוצר, נוסף על הגלוקוז, גם גז חמצן החיוני לתהליך הנשימה של מרבית היצורים בעולם; גם את תכולת החמצן הגבוהה של האטמוספירה אנו חבים אפוא לצמחים.

המדע העוסק בחקר הצמחים נקרא בוטניקה (botany), מן המילה היוונית botanē שפירושה עשב, מרעה; חוקר הצמחים נקרא בוטנאי. הבוטניקה כוללת ענפי מחקר רבים ומגוונים, ובהם חקר מבנה הצמח (מורפולוגיה), חקר רקמות הצמח (אנטומיה), חקר תפקוד הצמח (פיזיולוגיה) וחקר תפוצת הצמחים (פיטוגיאוגרפיה). הספר שבידיכם הוא ספר מבוא לבוטניקה, ומטרתו להציג בפני הקוראים את עולם הצומח מנקודת מבט אבולוציונית. לאורך הספר נסקור את מגוון הצמחים בעולם, מן הפשוטים והקדומים ביותר – האצות הכחוליות, שאינן אלא חיידקים המבצעים פוטוסינתזה – וכלה בבעלי־הפרחים, שהם הקבוצה ה"צעירה" והמפותחת ביותר מבין קבוצות הצמחים. לאורך סקירה זו נתוודע לתכונות הצמחים, למאפייני חייהם ולהתאמותיהם לתנאי סביבה מגוונים.

1.5.1 מקומם של הצמחים בעולם היצורים החיים

מקובל לחלק את עולם היצורים החיים (Biota) לארבע קבוצות־על המכונות ממלכות (kingdoms): חיידקים (bacteria), צמחים (plantae, plants), בעלי חיים (animals, animalia) ופטריות (mycota, fungi). חלוקה זו לממלכות מסתמכת על ניתוח מדעי של כמה מאפיינים בסיסיים של מבנה האורגניזם ושל מאפייניו האקולוגיים, המשותפים לכל בני הקבוצה ומבדילים אותה מקבוצות אחרות, ויוצרים מכלול מאפיינים הייחודי לאותה קבוצה. מאפיין כזה יכול להיות תכונה נראית לעין, למשל מבנה הגוף, או תכונה שיש צורך במכשירים כדי לזהותה, למשל נוכחות של חומר כימי מסוים. המיון של אורגניזמים שונים לקבוצות על סמך תכונותיהם נקרא חלוקה סיסטמטית (systematic classification), והמדע העוסק במיון אורגניזמים לקבוצות נקרא, כפי שכבר הזכרנו למעלה, סיסטמטיקה (systematics).

ממלכת החיידקים קרויה גם ממלכת היצורים הפרוקריוטיים (prokaryotes, חסרי גרעין; השם מורכב מן התחילית pro-, שפירושה "לפני", ומן המילה היוונית

גבוה יותר בחלולית מאשר בציטופלזמה גורם למעבר מים מן הציטופלזמה אל תוך החלולית. כניסת המים לחלולית יוצרת בה לחץ גבוה, הקרוי לחץ טורגור (*turgor pressure*). לחץ זה מנפח ומייצב את התא. עלים טריים של חסה (*Lactuca sativa*), למשל, נראים זקופים ורעננים משום שלחץ הטורגור בתאיהם גבוה. לאחר ששהו זמן-מה במקרר, לחץ הטורגור בתאים יורד ועלי החסה הופכים נבולים ושמטים.

צמיחה בלתי סיומית

בעלי חיים גדלים בשלבים המוקדמים של חייהם, עד הגעתם לבגרות זוויגית, כלומר לשלב שבו הם יכולים להעמיד צאצאים. בבגרותם הם חדלים לגדול, וממדיהם נשארים קבועים עד מותם. צמחים, לעומת זאת, מגדלים שורשים, גבעולים ועלים חדשים לאורך כל חייהם, גם לאחר שהגיעו לשלב הזוויגי שלהם. צימוח ללא הגבלה נקרא צימוח בלתי סיומי (*indeterminate growth*). באופן טיפוסי, צימוח בלתי סיומי מתבטא בשנים הראשונות בצמיחה לגובה, ולאחר הגעה לגובה הטיפוסי של הצמח – בצמיחה רוחבית. אורך החיים של צמחים, למשל עצי מחט מסוימים, יכול להגיע לאלפי שנים, בעוד שגיל צב היבשה הענק, בעל החיים מאריך-הימים ביותר, מגיע לכ-250 שנה בלבד. הצמחים חבים את חייהם הארוכים לעובדה שהם מייצרים תאים חדשים במשך כל חייהם. חלקים הבנויים תאים בני כמה חודשים או כמה שנים מתים, ובמקומם באים תאים חדשים הבונים רקמות חדשות. הצימוח הבלתי מוגבל מתאפשר בזכות רקמת מריסטמה (*meristematic tissue*), רקמה הכוללת תאים המתחלקים ויוצרים רקמות ואיברים חדשים, בדומה לתאי גזע של בעלי חיים. רקמת מריסטמה קיימת בצמח לאורך כל חייו ומתחדשת ברציפות.

תנועה מוגבלת

צמחים, בדומה לפטריות ובשונה מבעלי חיים, הם יצורים נייחים. לצמחים אין מערכת עצבים ושרירים כמו לבעלי החיים, והם נטועים במקומם, או מרחפים באופן פסיבי במים, במשך כל חייהם. עם זאת, לאיברי הצמח יש יכולת תנועה מוגבלת, התלויה בשינויים מקומיים בלחץ הטורגור

1.5.2 מאפייני צמחים

המאפיין הבסיסי והמגדיר של צמחים הוא היותם יצורים יצרנים המבצעים פוטוסינתזה. נוסף על מאפיין יסודי זה, אפשר להבדיל בינם לבין בעלי חיים ופטריות על סמך המאפיינים האלה:

דופן תא הצמח

יחידת הבניין של כל היצורים החיים היא התא, ולתא הצמחי מאפיינים המייחדים אותו משאר היצורים. התא הצמחי מוקף דופן תא (*cell wall*) עשויה סיבים של רב-סוכר הקרוי תאית (*cellulose*). תאית היא החומר שממנו עשויים הנניר וצמר הגפן. דופן התאית מעניקה לתא חוזק מכני יחד עם גמישות, ומגינה על התא מפני התרחבות והתפוצצות בעקבות חדירת מים לתוכו. דופן תא הצמח בנויה משלוש שכבות של תאית. גם לתאים של פטריות יש דופן תא, אך היא בנויה מרב-סוכר הקרוי כיתין, ולא מתאית.

פלסטידות

בתוך הציטופלזמה של תא הצמח נמצאים אברונים פנימיים עטופי קרום הנקראים פלסטידות (*plastids*). הפלסטידה המוכרת ביותר היא הכלורופלסט, האברון שבו מתקיים תהליך הפוטוסינתזה. סוגים אחרים של פלסטידות אחראים לאחסנת חומרי תשמורת (כגון העמילולפלסטים המאחסנים עמילן והאליופלסטים, *elaioplasts*, המאחסנים שומן), חומרי צבע (כמה מן הצבענים של הצמח מאוחסנים בכרומופלסטים) ותרבות נדיפות. כל סוגי הפלסטידות מתפתחות מפלסטידה בסיסית הקרוי פרוטופלסט (*protoplast*).

חלולית

חלולית (וקואולה, *vacuole*) היא אברון גדול התופס את רוב נפחו של התא, ושאר מרכיבי התא והציטופלזמה נמצאים בנפח הנותר, באזורים ההיקפיים של התא. החלולית היא אברון בעל ממברנה בררנית המכיל נוזל הקרוי מוֹחֵל (*sap*), המורכב בעיקר ממים וממומסים שונים. ריכוז מומסים

אך אינם נסגרים עם הזריחה אלא נשארים פתוחים עד לנבילתם.

תנועה אקטיבית של צמח שלם ממקום למקום (locomotion) מוגבלת אך ורק לתאי צמח יחידים, או למושבות תאים המונעות על ידי שוטונים בתוך מים. גם תאי הזרע של אצות, טחבים ושרכים נעים בתוך תווך מימי, בדומה לתנועה של תאי זרע של בעלי חיים.

חישה מוגבלת

בעלי חיים מצוידים במערכות חושים מורכבות כגון חוש הראייה, השמיעה, הריח והמישוש, המעבירות למערכת העצבים מידע על הסביבה. לצמחים ולפטירות אין מערכת חושים עצבית, אך הם מסוגלים בהחלט לחוש את סביבתם ולהגיב בהתאם. נתבונן, לדוגמה, בחישה של שני גורמי סביבה חשובים לצימוח: אור וכבידה.

ברקמות הצמח. תנועותיהם של הצמחים הן לרוב איטיות מכדי שנבחין בהן בהתבוננות רגילה, אך קל לראותן בסרטים המוקרנים במהירות מואצת. הדוגמה המוכרת ביותר לתנועה גלויה לעין בצמחים היא של המין מימוזה ביישנית (*Mimosa pudica*), שעליה הפרושים מתקפלים בתגובה למגע (איור 1.12). תנועות איטיות יותר נפוצות מאוד בעולם הצומח; למשל, צמחים רבים בעלי עלים מורכבים סוגרים את עלעליהם עם ערב ופורשים אותם עם בוקר. יש גם צמחים שעליהם נעים במשך היום ועוקבים אחר תנועת השמש בשמיים, וכך הם קולטים קרינה רבה ככל האפשר בכל שעות היום. פרחים רבים נפתחים במשך חלק מהיממה, ואז שבים ונסגרים. פרחי החמצץ הנטוי (*Oxalis pes-caprae*) (איור 1.13), למשל, פתוחים במשך היום, נסגרים לאיטם עם שקיעת השמש ונפתחים שוב למחרת. לעומת זאת, פרחי נר הלילה החופי (*Oenothera drumindii*) (איור 1.14) נפתחים עם שקיעת השמש,



איור 1.12 עלים של מימוזה ביישנית (*Mimosa pudica*), מקצתם פרושים ומקצתם מקופלים.



איור 1.13 חמציץ נטוי (*Oxalis pes-caprae*), שפרחיו פתוחים ביום וסגורים בלילה.

תרכובות רגישות לאורכי גל מסוימים של אור, המשמשות אותם כחיישני אור (למשל: פיטוכרומים, phytochromes, הרגישים לאור אדום ותת-אדום). תרכובות אלה מסייעות

חישת אור חשובה מאוד לצמחים משום שחשיפה מיטבית לאור מאפשרת פוטוסינתזה רבה ויעילה יותר. לפיכך, כל הצמחים מסוגלים לחוש באור. צמחים מייצרים



איור 1.14 פרח נר הלילה (*Oenothera drumindii*), הנפתח לעת ערב ואינו נסגר עוד.

פילוגנטיים גם נתונים כרונולוגיים שנקבעו על פי שעונים מולקולריים. על סמך הנתונים השונים האלה, אפשר לשחזר ולהציג את מהלך ההיסטוריה של עולם הצמחים. הקווים והתפצלויותיהם מתארים את הקשרים בין הקבוצות ואת מועדי הופעתן. רוחב השטח המייצג כל קבוצה משתנה בהתאם לגודלו של מגוון המינים של הקבוצה במהלך ההיסטוריה הגיאולוגית.

בעידן הפרקמבריום (Precambrian), לפני כ-4 מיליארדי שנים, הופיעו לראשונה החיים על פני כדור הארץ. בטרם הופעת החיים, האטמוספירה של כדור הארץ הייתה ענייה מאוד בחמצן. היצורים החיים הראשונים היו פרוקריוטים, כלומר חסרי גרעין, ובהם חיידקים פוטוסינתטיים מקבוצת האצות הכחוליות. האצות הכחוליות חיו במקווי המים בימים ועל פני הקרקע, והעשירו את האטמוספירה בחמצן. בסוף עידן הפרקמבריום, אחוז החמצן באטמוספירה כבר הגיע לרמה דומה לרמתו כיום. לפני כמיליארד שנה, לקראת סופו של עידן הפרקמבריום, הופיעו לראשונה יצורים איקריוטיים – תחילה חד-תאיים, ובהמשך צורות חיים רב-תאיות פשוטות. הצמחים האיקריוטיים הראשונים היו פשוטים יחסית: אצות, אשר חיו בעיקר בים.

לפני כחצי מיליארד שנה התחיל עידן הפליאוזואיקון (Paleozoic, מן המילים ביוונית palaeo, "קדום", ו-zoon, "בעל חיים"). בעידן זה הופיעו על פני כדור הארץ בעלי חיים רב-תאיים חסרי חוליות. עידן הפליאוזואיקון התאפיין בדומיננטיות של חסרי החוליות והדגים בעולם החי הימי, ושל חסרי החוליות – ביבשה.

בתקופת האורדוביק (Ordovician) הופיעו לראשונה צמחי יבשה פרימיטיביים, שדמו לטחבים בני ימינו. צמחים אלה התאפיינו בזיקה חזקה לסביבה לחה, בדומה לאצות, ועם זאת היו עמידים מאוד לתנאי יובש זמניים.

בתקופת הסילור (Silurian) הופיעו צמחי הנצר הראשונים, שמהם התפתחו רוב הצמחים ביבשה. לצמחים אלה היו גבעול אמיתי ורקמות פנימיות שהוליכו מים מן הקרקע לחלקי הצמח העליונים. צמחי הנצר הראשונים הללו התרבו באמצעות נבגים, בצורה דומה לאופן הרבייה של שרכים בני ימינו.

בתקופת הדבון (Devonian) הופיעו לראשונה עצים של ממש. עליהם של עצים אלה דמו לעלי שרכים, וכמו הצמחים מתקופת הסילור, גם תהליך הרבייה שלהם היה דומה לרביית השרכים בני ימינו.

בפעולת מנגנונים המכוונים את תהליכי הנביטה, הצמיחה, הפריחה, ייצור הכלורופיל והתנועה בצמח.

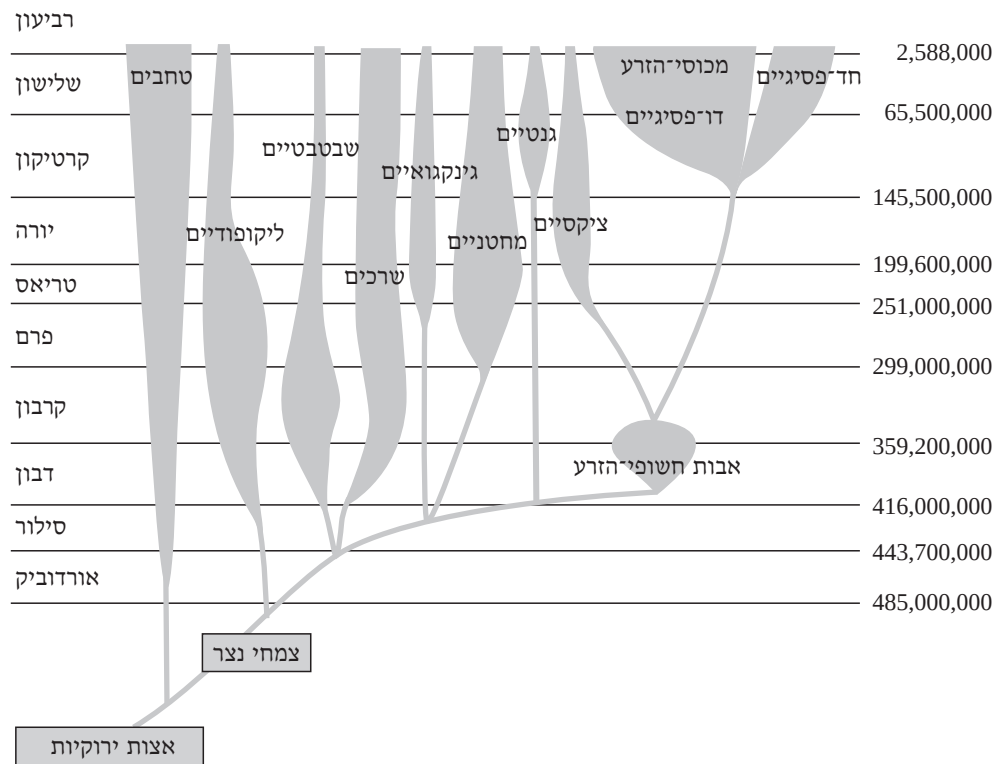
צמחים מסוגלים לחוש גם בכבידה, או גרביטציה (gravity). יכולת חישה זו התגלתה כאשר צמחים גדלו בחשכה גמורה, ובכל זאת גבעוליהם צמחו כלפי מעלה ואילו שורשיהם – כלפי מטה. חישת הכבידה מתבצעת באמצעות פלסטידות חסרות כלורופיל מיוחדות, הקרויות סטטוליתים (statoliths).

סקירה קצרה זו של המייחד את הצמחים מבעלי החיים ומהפטריות מראה לנו כי המבדיל ביניהם איננו תכונה אחת, אלא מכלול תכונות. מכלול זה אינו קיים תמיד בשלמותו. בהשוואה בין יצורים חד-תאיים, נמצא כי קיים דמיון רב בין תאי בעל חיים לתאי צמח. למשל, בקבוצת האצות החד-תאיות הנקראות דינופלגלטים (dinoflagellates), מקצת המינים הם פוטוסינתטיים ואחרים הם מינים טורפים שאינם מבצעים פוטוסינתזה. אנו מגדירים את כולם כאצות על בסיס ההנחה כי האב הקדמון של קבוצה זו היה אצה פוטוסינתטית, וכי מקצת צאצאיו של אותו אב קדמון איבדו את התכונה הזאת.

1.6 היסטוריה של עולם הצומח

רק מעט ידוע לנו על תולדותיו של עולם הצומח. את המעט הזה אנו לומדים ממאובנים (fossils) של צמחים שנשמרו בשכבות גיאולוגיות קדומות בקרום כדור הארץ. מאובנים הם שרידי אורגניזמים שצורתם השתמרה כטביעה בסלע; אנו מעריכים את גילם של מאובנים על פי גיל השכבה הגיאולוגית שבה נמצאו. לאורך ספר זה נציין כמה דוגמאות של מינים מאובנים ואת גילם המשוער, שיסייע לנו להבין מתי הופיעה הקבוצה שאליה הם משתייכים. לשם כך ניעזר בלוח הזמנים הגיאולוגי, המחלק את דברי ימי העולם באופן היררכי לעידנים (eras), תקופות (periods) וגילים (epochs). למשל, אנו חיים כיום בגיל ההווה, הקרוי הולוקן (Holocene), שהוא חלק מתקופת הרביעון (Quaternary) השייכת לעידן הקנוזואיקון (Cenozoic).

באיור 1.15 מופיע לוח הזמנים הגיאולוגי, ובו נקודות ציון כרונולוגיות חשובות בהיסטוריה של הצמחים. נקודות הציון הללו מבוססות על מאובנים שנמצאו בשכבות המיוחסות לתקופות שונות. לצד המידע הכרונולוגי שנאסף מחקר המאובנים, אפשר להוסיף לאילנות יוחסין



איור 1.15 תרשים של העץ הפילוגנטי של עולם צמחי היבשה. משמאל רשומים שמות העידנים הגיאולוגיים בהיסטוריה של כדור הארץ; מימין - מספר השנים שחלפו מאז המעבר מעידן לעידן.

בעידן הקנוזואיקון (Cenozoic) התפתחו קבוצות היונקים בנות זמננו, ובהן קופי האדם. הצמחים בעלי-הפרחים תפסו את מקומם של השרכים וחשופי-הזרע, והפכו למרכיב השולט בצמחיית העולם. בתקופת השלישון (Tertiary) הופיעו רוב משפחות הצמחים בעלי-הפרחים בנות זמננו וכן בעלי החיים הניזונים מצמחים אלה, כמו סוסים, בקר וחורקים יונקי צוף. בגיל הפליוקן (Pliocene), שנעל את תקופת השלישון, נסוגו היערות והוחלפו בצמחייה עשבונית נמוכה, עקב שינויי אקלים. תקופת הרביעון (Quaternary) היא התקופה שבה אנו חיים. בתקופה זו התפתח האדם המודרני. בגיל ההולוקן (Holocene), שהחל לפני 11 אלף שנה, גדלה אוכלוסיית האדם ופני כדור הארץ השתנו עד ללא הכר. הצורך במרחב מחיה, במשאבים ובמזון הוביל את האדם לפנות לתועלתו אזורים נרחבים בכדור הארץ, ובכך הצטמצם מרחב המחיה של יצורים אחרים, עד כדי הכחדה של מינים רבים.

בתקופת הקרבון (Carboniferous) התכסו אזורים נרחבים על פני כדור הארץ ביערות. יערות אלה היו מורכבים משרכים, ליקופודים, שבטבטים ודומיהם. בתקופה זו הופיעו הנציגים הראשונים והקדמוניים של הצמחים בעלי הזרעים הקרויים חשופי-זרע. בתקופת הפרם (Permian), שנעלה את עידן הפליאוזואיקון, הופיעו שלוש קבוצות של חשופי-זרע ששרדו עד ימינו: הציקסים, הגינקגו והמחטניים. עידן המזוזואיקון החל לפני 160 מיליון שנה, והתאפיין בדומיננטיות של הזוחלים, ובהם הדינוזאורים, בעולם החי היבשתי. בתקופת הטריאס (Triassic) והיורה (Jurassic) גדל חלקם של צמחי-הזרע ביערות שכיסו את היבשה, ואילו חלקם של השרכים ודומיהם הצטמצם. בתקופת הקרטיקון (Cretaceous), שנעלה את המזוזואיקון, הופיעו הנציגים הראשונים של הצמחים בעלי הפרחים והפירות. בתקופה זו נכחדו הדינוזאורים וגדל מגוון היונקים.

1.7 הצמחים והאדם

להכרת עולם הצומח יש חשיבות מרובה מעצם העובדה שצמחים ממלאים תפקיד חשוב בחיי האדם משחר קיומו. צמחים כמו אורז, חיטה ותירס הם מזונו הבסיסי של האדם, ולצידם מינים רבים של צמחים ועצים שאנו אוכלים את פריים, גבעוליהם או שורשיהם. צמחים הם המקור לחומרי גלם רבים, כגון עץ וסיבים. צמחים משמשים כמקור לתרופות, מאספירין ועד לתרופות חדישות למחלת הסרטן; לחומרי ריח, כמו תמצית הוורדים; לחומרי צבע, כמו האינדיגו הצובע את הג'ינס בכחול; ולעוד מוצרי צריכה רבים. לצמחים חשיבות רבה ביצירת סביבה נעימה לאדם על ידי גינון וייעור, ולאחרונה הולך ומתרחב השימוש בצמחים להפקת חומרי דלק להנעת מכוניות ותחנות כוח. הקשר ההדוק בין הצמחים לאדם הוא הבסיס לחשיבותם הרבה בתרבות ובפולחן של עמים רבים, כגון ארבעת המינים ביהדות, עצי פיקוס קדושים בדת ההינדו והבאת פרחים אל הקבר בנצרות. הכרה בסיסית של עולם

הצומח היא הכרחית כדי לחקור את תפקידו של הצמח בחיי האדם.

ההיסטוריה של האנושות והתפתחותה התרבותית והטכנולוגית קשורה הדוקות להתפתחות החקלאות ולניצול צמחים שונים לצורכי האדם. תחילתה של החקלאות בתקופת האבן החדשה (במהלך האלף העשירי לפנה"ס), שבה החלו בני האדם לגדל צמחי מזון ותועלת בשדות והפסיקו להסתמך על ליקוטם בשדות הבר, הייתה נקודת מפנה בהיסטוריה. היא שאפשרה לאדם לחדול מנדודיו ולהקים יישובי קבע. בני האדם לא רק אספו צמחים המתאימים להם מהבר, אלא יצרו, בתהליכים של ברירה וטיפוח, זנים חדשים בעלי תכונות משופרות כגון פירות גדולים, תכולה גבוהה של ויטמינים וחומרי הזנה חשובים אחרים, עמידות בפני מזיקים ועוד. זנים חקלאיים אלה נכללים עדיין באותו מין כמו קרוביהם מהבר, אך בשיטות של ריבוי חקלאי אפשר לשמור על זהותם הייחודית ולגדל מהם שדות ומטעים אחידים, בעלי יכול גבוה ורב ערך.

הפרקים הבאים

הפרקים הבאים בספר עוסקים בקבוצות הראשיות של עולם הצמחים, בסדר הנחשב כיום לסדר התפתחותן האבולוציוני. בכל פרק מודגשים הקווים האבולוציוניים העיקריים בכל קבוצה והקשר שלה אל הקבוצות שלפניה ואחריה. הפרקים הם:

אצות פרק זה מקיף את קבוצת הכחוליות, שהיא אחת מקבוצות החיידקים הפוטוסינתטיים; את האצות שהיו, ככל הנראה, קבוצת המוצא של צמחי היבשה; ושושלות אחרות של אצות, שלא התפתחו לצמחי יבשה. אצות אלה חיות עד היום רק במים, הן מי האוקיינוסים והן מים מתוקים, או על קרקעות וסלעים לחים.

חזזיות פרק זה מתאר את החזזיות, שהן שילוב של פטרייה ואצה (או שני סוגי אצות) החיות יחד בסימביוזה; יש שהאצה הזאת היא כחולית. החזזיות דומות בצורתן לצמחים ירודים, אך בדיקה מיקרוסקופית מגלה את העובדה שכל חזזית מורכבת מפטרייה יחד עם סוג אחד או שניים של אצות.

טחבים פרק זה מתאר את הקבוצה הקדומה ביותר של צמחי יבשה, הטחבים, שעודם קשורים לבתי גידול לחים לפחות בחלק ממחזור חייהם.

שרכנים בפרק זה תמצאו תיאור של כמה קבוצות שונות ושל היחסים האבולוציוניים ביניהן, אשר אינם תמיד ברורים לגמרי. לפני כ-500 מיליון שנה היו השרכנים קבוצת הצמחים השלטת על פני היבשות; שינוי התנאים שהתחולל לפני כ-250 מיליון שנה הביא, כנראה, לדעיכתם ולעלייתן של קבוצות צמחים מפותחות יותר.

חשופי־זרע פרק זה מגולל את הופעתו של הזרע בצמח, ומתאר את הקבוצות הקדמוניות ביותר שהתרבו בעזרת זרעים.

בעלי־הפרחים פרק זה מתאר את הקבוצה המאוחרת והמפותחת ביותר מבין קבוצות הצמחים. קבוצה זו כוללת את רוב מיני הצמחים המוכרים לנו כיום, ובהם כל צמחי החקלאות והנוי המשמשים אותנו בצורות רבות ומגוונות.

הקווים האבולוציוניים העיקריים בעולם הצמחים פרק זה עוקב אחר השינויים שחלו במהלך האבולוציה במאפיינים השונים של עולם הצמחים, החל מהשינויים ברמת התא ועד לשינויים במבנה של הצמחים ובדרכי הרבייה שלהם.