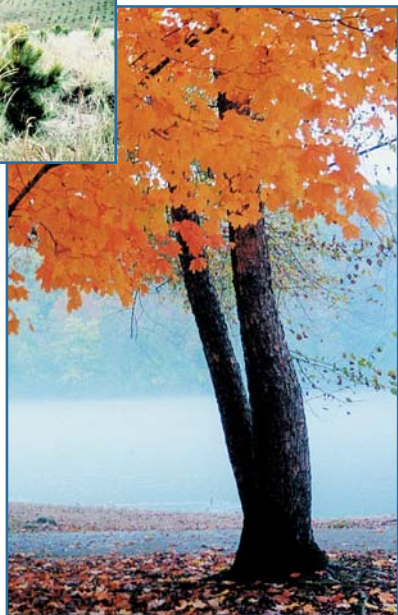
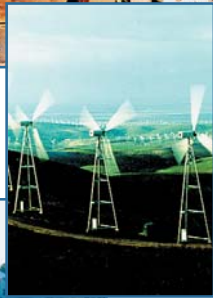
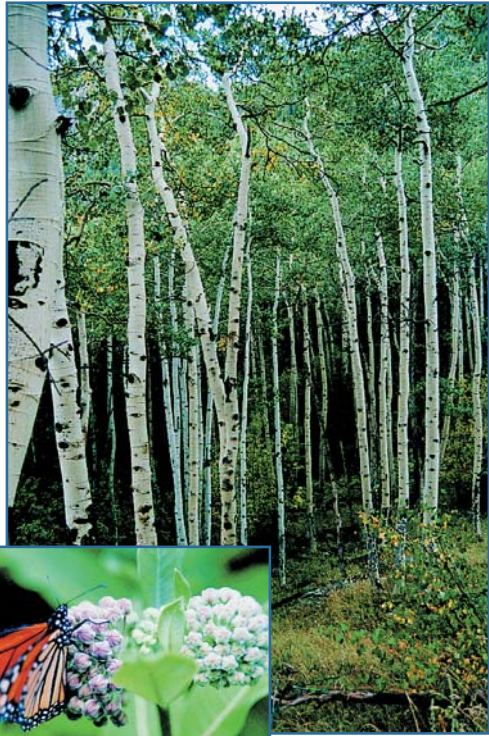


סוגיות באקולוגיה

חורגם על ידי קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב (חורף 2006)

הופק על ידי החברה האקולוגית האמריקאית (אביב 1997)

שירותי המערכת האקולוגית: סוגי תועלת המסופקים לחברות אנושיות על ידי מערכות אקולוגיות טבעיות



החוברת פורסמה במקור ע"י החברה האקולוגית האמריקאית (1997) בסדרת החוברות סוגיות באקולוגיה. המהדורה העברית יצאה לאור על ידי קמפוס טבע באוניברסיטת תל-אביב (2005). כל הצילומים והאיורים לקוחים מהמהדורה באנגלית.

חברי המערכת המדעית הישראלית:

ד"ר יעל גבריאל: קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב
פרופ' תמר דיין: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
פרופ' דויד זלץ: המחלקה לאקולוגיה מדברית ע"ש מרקו ולואיז מיטרני, המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
פרופ' יוסי לוי: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
פרופ' עוזי מוטרו: המחלקה לאבולוציה, סיסטמטיקה ואקולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים

הוסיפו על ההיבט הישראלי:

פרופ' אוריאל ספריאל: המחלקה לאבולוציה, סיסטמטיקה ואקולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים
פרופ' מיכה אילן: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב

עריכה: ד"ר יעל גבריאל וענת פלדמן
עריכה לשונית: חיה וטנשטיין-מאייר
גרפיקה והבאה לדפוס: סטודיו יריב סתיו
סייעו בהפקה: סטודיו יריב סתיו ודפוס מקסם

תודות

המהדורה האמריקאית יצאה לאור בסיוען של קרן Packard וקרן Pew. המהדורה העברית יצאה לאור בסיוען קרן ברכה.

לקבלת עותקים נוספים:

קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב, תל-אביב 69978
 טלפון: 03-6405148, פקס: 03-6405253, דוא"ל teva@tauex.tau.ac.il

ניתן להוריד קובץ PDF של החוברת מאתר קמפוס טבע www.campusteva.tau.ac.il

שירותי המערכת האקולוגית: סוגי תועלת המסופקים לחברות אנושיות על ידי מערכות אקולוגיות טבעיות

נכתב במקור על ידי : Gretchen C. Daily, Susan Alexander, Paul R. Ehrlich, Larry Goulder, Jane Lubchenco, Pamela A. Matson
הוסיפו על ההיבט הישראלי: אוריאל ספריאל, מיכה אילן

תקציר

ברמה העולמית, ולהטמיע את ערכם בתהליכי קבלת החלטות.

מבחינה היסטורית הייתה בדרך כלל התעלמות מטבען ומערכן של המערכות התומכות חיים על פני כדור הארץ, עד שהן הופרעו או אבדו, וכתוצאה מכך הורגשה חשיבותן. לדוגמה, בירוא היערות חשף, באיחור, את תפקיד המפתח של היערות בוויסות מחזור המים – במיוחד במיתון שיטפונות, בצורות, כוחות הסחיפה והבלייה של הרוח והגשם ובהצטברות סחף בסכרים ובתעלות. כיום, השפעות מסלימות של פעולות האדם ביערות, בבתי גידול לחים ובמערכות אקולוגיות טבעיות נוספות מסכנות את אספקתם של שירותים אלו. האיזונים העיקריים הם שינויים בשימושי השטח הגורמים לאובדן המגוון הביולוגי כמו גם להפרעות למחזוריים הביוגיאוכימיים של הפחמן, החנקן ועוד; פלישות מינים זרים הנגרמות על ידי האדם; שחרור חומרים רעילים; אפשרות לשינוי אקלים מהיר ודלדול שכבת האוזון הסטרטוספרי.

בהסתמך על העדויות המדעיות שבידנו, אנו בטוחים כי:

- שירותי המערכת האקולוגית חיוניים לתרבות האנושית;
- שירותי המערכת האקולוגית פועלים בקנה מידה כה עצום ובדרכים כה מורכבות וכה מעט מוכרות, עד שלרובם אין תחליף טכנולוגי;

חברות האדם מפיקות מוצרים חיוניים רבים שמקורם במערכות אקולוגיות טבעיות, ביניהם: מאכלי ים, בשר ציד, מספוא, עץ להסקה וחומרים לתעשיית התרופות. מוצרים אלו הם מרכיבים חשובים ומוכרים של הכלכלה. עם זאת, עד לאחרונה לא הוערכה כראות העובדה, כי המערכות האקולוגיות מספקות גם שירותים תומכי חיים, ואילו לא הן, היו פוסקות התרבויות האנושיות מלשגשג. בין שירותים אלו כלולים טיהור האוויר והמים, ויסות האקלים, חידוש פוריות הקרקע וייצור וקיום המגוון הביולוגי, שממנו נגזרים מרכיבי מפתח בפעילות הכלכלית, החקלאית, התרופתית והתעשייתית. מערך שירותים זה הוא תוצאה של מערכת מורכבת של יחסי גומלין בין מחזוריים טבעיים, המונעים על ידי אנרגיית השמש ופועלים בטווח רחב של ממדי המרחב והזמן. תהליך סילוק הפסולת, לדוגמה, כולל את מחזורי החיים של חיידקים כמו גם מחזוריים עולמיים של מרכיבים כימיים, כגון: פחמן וחנקן בכל כדור הארץ. תהליכים אלו מוערכים בטרייליונים רבים של דולרים מדי שנה. עם זאת, משום שמרבית תועלות אלו אינן נסחרות בשווקים הכלכליים, אין עליהן תג מחיר שיכול להזהיר את החברה מפני שינויים בזמינותן או מפני הידרדרות במצבן של המערכות האקולוגיות היוצרות אותן. בשל העובדה שהאיזונים על מערכות אלו הולכים ומתרבים, יש צורך קריטי לזהות את שירותי המערכת ולנטר אותם גם ברמה המקומית וגם



איור 1: יער צפצפות (*Populus tremuloides*) בקולורדו, המסגן ומטהר את האוויר ואת המים.

תצלום: J. Robert Stofflemyer / Biological Photo Service



צילום: Taylor Ricketts

איור 2: אישה נושאת גזע עץ לייצור סירות בכפר דייגים באי צ'ילו בצ'ילה. יערות טבעיים נותרו מקור חשוב לעץ לבנייה, לדלק ולשימושים נוספים.

האקולוגית, העוסק במגוון רחב של תנאים ותהליכים אשר בעזרתם מערכות אקולוגיות טבעיות והמינים המהווים חלק מהן מסייעים לאפשר את קיום האדם. שירותים אלו מקיימים את המגוון הביולוגי ואת ייצורם של מוצרים טבעיים, כגון: מאכלי ים, בשר ציד, מספוא, עץ, חומרי בעירה, סיבים טבעיים ומוצרים תרופתיים ותעשייתיים רבים וחומרי הגלם שלהם. איסוף היבול והמסחר במוצרים אלו הם מרכיבים חשובים ומוכרים של הכלכלה האנושית. נוסף על ייצור מוצרים אלו שירותי המערכת האקולוגית תומכים בקיום החיים באמצעות (Holdren and Ehrlich, 1974; Ehrlich and Ehrlich, 1981):

- טיהור מים ואוויר;
- מיתון בצורות ושיטפונות;
- ייצור ושימור קרקעות וחיידוש פוריותן;
- פירוק פסולת רעילה וסילוקה;
- האבקה של גידולים חקלאיים וצמחייה טבעית;
- הפצת זרעים;
- מיחזור והסעה של נוטריאנטים;
- בקרה של מרבית המזיקים החקלאיים הפוטנציאליים;
- קיום מגוון ביולוגי;
- הגנה על החופים מפני בלייה על ידי גלי הים;
- הגנה מפני הקרינה האולטרה-סגולה המזיקה של השמש;
- ייצוב חלקי של האקלים;
- מיתון מצבי אקלים קיצוניים והשפעותיהם;
- סיפוק הנאה אסתטית והשראה רוחנית לנפש האדם.

אף על פי שההבחנה בין "טבעי" ל"נשלט על ידי האדם" הופכת למטושטשת, אנו מדגישים את הטבעי בשל שלושה נימוקים הקשורים זה בזה. הראשון, השירותים המסופקים על ידי המערכות האקולוגיות הטבעיות אינם מוערכים דיים על ידי החברה. במרבית המקרים הם אינם נסחרים בשווקים רשמיים, ועל כן אינם בעלי תגי מחיר המזהירים בפני שינויים בהיצע שלהם או במצבם. יתר על כן, אנשים מעטים מודעים לתפקיד ששירותי המערכות האקולוגיות הטבעיות ממלאים

■ פעילות האדם פוגעת כבר היום בשטף של שירותי המערכת האקולוגית בקנה מידה גדול; אם המגמות הקיימות ימשכו, תוך עשורים ספורים תשנה האנושות באופן מהותי את כל המערכות האקולוגיות הטבעיות שעדיין נותרו על פני כדור הארץ.

נוסף על כך, בהסתמך על עדויות מדעיות עדכניות, אנו בטוחים כי:

- פעילויות רבות של האדם, אשר משנות או הורסות מערכות אקולוגיות טבעיות, עלולות לגרום להידרדרות השירותים האקולוגיים, אשר ערכם, לטווח הארוך, מגמד את התועלת הכלכלית, שהחברה מרוויחה מפעילויות אלו;
- בחשיבה כלל עולמית מספרים גדולים מאוד של מינים ואוכלוסיות נדרשים כדי לקיים את שירותי המערכות האקולוגיות;
- אפשר לשקם את התפקוד של מערכות אקולוגיות רבות, אם יינקטו בזמן צעדים מתאימים.

אנו מאמינים, כי מדיניות שימושי הקרקע והפיתוח צריכה לשאוף להשגת איזון בין קיום ארוך-טווח של השירותים החיוניים של המערכת האקולוגית ובין השגת היעדים הראויים אך קצרי המועד של הפיתוח הכלכלי.

הקדמה

לחברות רבות יש כיום יכולת טכנולוגית, שאיש לא חלם עליה לפני מאות שנים. לאזרחיהן יש שליטה עולמית כה רבה במשאבים, עד שאפילו מזון טרי שמוטס מכל רחבי הגלובוס נחשב כמובן מאליו, ותפריטים יומיים אינם תלויים עוד במגבלות של עונות הצימוח והקרקעות. התפתחויות אלו הסיטו את תשומת הלב מהתשתיות הביולוגיות המקומיות, שהן חיוניות לשפע הכלכלי ולהיבטים נוספים של רווחת האדם.

תשתיות ביולוגיות אלו נכללות במושג "שירותי המערכת

יש שיתמוודו עם השאלה באופן מסודר על ידי בחירה, מבין כלל המינים, את אלו המנוצלים ישירות למזון, לשתיה, לתבלינים, לסיבים, לעץ, לחומרי תרופות ולמוצרים תעשייתיים. גם אם נהיה בררניים מאוד, הרשימה תקיף מאות עד אלפי מינים, וזו תהיה רק ההתחלה, כיון שאז נצטרך לשקול גם את המינים החיוניים לקיומם של המינים, שמהם אנו נהנים ישירות: החיידקים, הפטריות וחסרי החוליות המסייעים להפוך את האדמה לפורייה ומפרקים פסולת וחומר אורגני; החרקים, העטלפים והציפורים המאביקים פרחים; העשבים, השיחים והעצים המסייעים להחזיק את האדמה במקומה, מווסתים את מחזור המים ומשמשים מזון לבעלי חיים. המסר הברור של תרגיל זה הוא כי איש לא יודע אילו הרכבים של מינים – או אפילו לא בערך כמה מינים – דרושים כדי לקיים את החיים האנושיים.

במקום לבחור מינים ישירות, אפשר לנסות גישה אחרת: למנות את שירותי המערכת האקולוגית הנדרשים במושבה הירחית ואז לשער כמה טיפוסים מינים ואילו מינים יידרשו כדי להעניק כל אחד מהשירותים האלה. עם זאת, ההחלטה אילו מינים חיוניים לשירות מסוים של המערכת האקולוגית היא אתגר לא פשוט. ניקח לדוגמה את פוריות הקרקע. אורגניזמים של הקרקע הכרחיים להמרה הכימית ולהסעה הפיזית של נוטריאנטים החיוניים לצמחים עילאיים. אבל השפעת של האורגניזמים של הקרקע הוא מדהים. מתחת ל-0.8 מטרים רבועים של אחו בדנמרק אכלסה הקרקע כ-50,000 שלשולים קטנים וקרוביהם, 50,000 חרקים וקרדיות וכמעט 12 מיליון תולעים עגולות (נמטודות), ושעורים אלה הם רק ההתחלה. מספר בעלי החיים בקרקע זעיר לעומת מספר המיקרואורגניזמים בקרקע: קמצוץ של אדמה פורייה יכול להכיל יותר מ-30,000 יצורים חד-תאיים, 50,000 אצות, 400,000 פטריות ומיליארדים של חיידקים (Overgaard-Nielsen 1955; Rouaff and Katznelson, 1961; Chanway, 1993). אילו מהם חייבים המתיישבים להביא לירח כדי להבטיח צימוח שופע

ביצירת המוצרים של המערכות האקולוגיות שכן נסחרים בשווקים. חוסר מודעות זה מסייע להמרת המערכות האקולוגיות הטבעיות למערכות הנשלטות על ידי האדם (לדוגמה, שדות חיטה או מטעים של דקלי שמן), אשר ערכן הכלכלי ניתן לביטוי, לפחות בחלקו, במטבע סטנדרטי. הנימוק השני להתמקדות במערכות האקולוגיות הטבעיות הוא כי רבות מההפרעות שנגרמות למערכות אלו על ידי האדם, לדוגמה, החדרה של מינים אקזוטיים, הכחדה של מינים מקומיים ושינוי ההרכב הגזי של האטמוספירה דרך שריפת דלקים – הן פעמים רבות בלתי הפיכות בכל קנה מידה של זמן שרלוונטי לחברה האנושית. שלישית, אם המודעות לא תגבר והמגמות הקיימות יימשכו, האנושות תגרום לשינוי מהותי בשארית המערכות האקולוגיות הטבעיות בתוך עשורים ספורים בלבד (Daily, 1997a, b).

חוסר תשומת הלב המוקדשת לתפקידן החיוני של המערכות האקולוגיות הטבעיות ניתן להבנה. האנושות החלה את דרכה בזמן שמרבית שירותי המערכת האקולוגית כבר פעלו במשך מאות מיליונים עד מיליארדי שנים. שירותים אלו הם כה בסיסים לחיים, עד שהם מתקבלים בקלות כמובנים מאליהם, והם כה עצומים בקנה המידה שלהם עד שקשה לדמיין, כי פעילויות האדם מסוגלות לשבש אותם ללא תקנה. אולי תרגיל מחשבתי שבמהלכו מסלקים שירותים אלו מהרקע המוכר של כדור הארץ הוא הדרך הטובה ביותר להמחיש גם את החשיבות וגם את המורכבות של שירותי המערכות האקולוגיות, וכן עד כמה אנשים אינם מוכשרים דיים לייצר אותם בעצמם. דמינו, לדוגמה, שאנשים מנסים להתיישב על הירח. הניחו לצורך הדיון, כי בירח קיימים כבר באורח פלא תנאים המאפשרים קיום חיים אנושיים, כגון: אטמוספירה, אקלים ומבנה פיזי של קרקע הדומים לאלו של כדור הארץ. השאלה הגדולה הניצבת בפני המתיישבים החדשים תהיה, אם כן: את מי מבין מיליוני המינים של כדור הארץ צריך להעביר לירח כדי שיהיה מקום שאפשר לחיות בו?

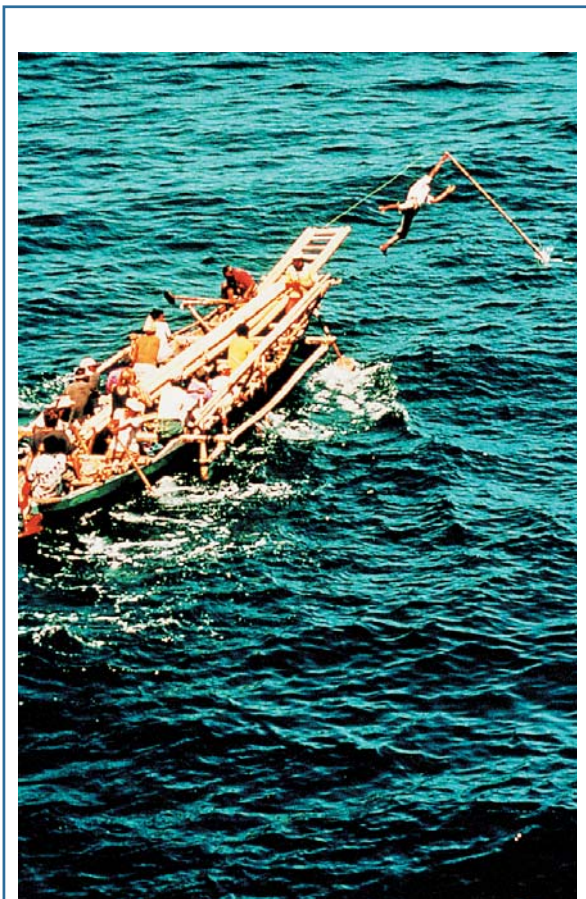
צילום:
Taylor Ricketts



איור 3: אלפקה רועים באלטיפלנו בצ'ילה. מערכות אקולוגיות עשבוניות הן מקור חשוב למוצרים מהחי; הן גם בית הגידול המקורי של מרבית חיות המשק וגידולים חקלאיים רבים, כגון: חיטה, שעורה ושיבולת שועל.

מיובאים מחו"ל. בעשור 1989-1999 שיעור היבול של דגי הים והכינרת קטן, ושיעור יבול הדגים מבריכות ומחקלאות ימית עלה. צמצום הדיג במערכות הטבעיות יכול לשקם ולהעשיר את מגוון הדגים במי החופים של ישראל. עם זאת, פיתוח בריכות הדגים והחקלאות הימית פוגעים בתפקוד של מערכות אקולוגיות אחרות כתוצאה מזיהום מים שמקורו בשפכי בריכות דגים ושימוש יתר במים, שהם כבר עתה הגורם המגביל את החקלאות בישראל (האגף לדיג וחקלאות המים, 2004).

אם נפנה את מבטנו ליבשה, מישורי עשב הם מקור חשוב למוצרים נסחרים, בכללם בעלי חיים המנוצלים ככוח עבודה (סוסים, פרדות, חמורים, גמלים, שוורים ועוד), ובעלי חיים שחלקיהם או מוצרים מהם נצרכים על ידי האדם (בשר, חלב, צמר ועור). מישורי עשב היו גם חשובים כבית הגידול המקורי של מרבית בעלי החיים המבויתים, כגון: בקר, עיזים, כבשים וסוסים ושל גידולים חקלאיים רבים, כגון: חיטה, שעורה,



איור 4: ציד לווייתנים בעזרת צלצל בפלורס, אינדונזיה. האוקיינוסים הם משאב מרכזי לחלבון מהחי עבור האוכלוסייה האנושית. (צילום: Taylor Ricketts)

ומתמשך, התחדשות האדמה, סילוק פסולת וכן הלאה? מרבית יצורים אלו החיים באדמה לא נבחנו מעולם, אפילו לא בשטחיות: עין אנוש לא מצמצה מולם דרך המיקרוסקופ, יד אדם לא הקלידה את שמם או את תיאורם, ומרבית מוחות האדם לא הקדישו להם רגע של מחשבה. עם זאת האמת לאמיתה היא, כפי שא' א' וילסון ניסח אותה: "הם לא צריכים אותנו אבל אנחנו צריכים אותם" (Wilson, 1987).

אופי שירותי המערכת האקולוגית

אם נחזור מהירח לכדור הארץ, נבחן יותר מקרוב את השירותים שהטבע מספק בכוכב הלכת היחיד, שאנו יודעים כי ניתן לחיות עליו. שירותי המערכת האקולוגית והמערכות המספקות אותם כה שלובים אלה באלה, עד שכל מיון שלהם הוא בהכרח שרירותי. להלן נסקור קבוצה של שירותים מקיפים שפועלים במערכות אקולוגיות ברחבי העולם.

ייצור מוצרים של המערכת האקולוגית

האנושות מקבלת ממערכות אקולוגיות טבעיות מגוון של מוצרים – אורגניזמים וחלקיהם ומוצרים שגדלים בטבע ומנוצלים ישירות לתועלת האדם. רבים מהם, למשל: דגים ומוצרים של בעלי חיים נסחרים בדרכי כלל בשווקים כלכליים. יבול הדיג השנתי העולמי, לדוגמה, מסתכם ב-100 מיליון טונות, וערכו נאמד בין 50 ל-100 מיליארד דולר. זהו מקור מרכזי לחלבונים מהחי – 20 אחוזים מאוכלוסיית אפריקה ואסיה תלויה בדגים כמקור החלבון העיקרי שלה (UNFAO, 1993). היבול המסחרי העולמי של דגי מים מתוקים ב-1990 הסתכם ב-14 מיליון טון בערך, ושווי הוערך ב-8.2 מיליארד דולר (UNFAO, 1994). מעניין לציין, כי הערך של דיג במים מתוקים לצורכי ספורט בארצות הברית בלבד עולה על ערך היבול המסחרי העולמי, וההוצאות הישירות עליו הסתכמו ב-1991 ב-16 מיליארד דולר. כשמוסיפים נתון זה לערך התעסוקה הנוצרת כתוצאה מפעילויות ספורט הדיג, הסכום עולה ל-46 מיליארד דולר (Felder and Nickum, 1992, cited in Postel and Carpenter, 1997). מכל מקום, עתיד מדגה זה מצוי בסימן שאלה, מפני שיבולי הדגים הגיעו או עברו, למעשה, את הרמות המקיימות בכל מקום. תשעה מאזורי המדגה העיקריים בעולם נמצאים בדעיכה כתוצאה מעודף דיג, זיהום והרס של בתי הגידול (UNFAO, 1993; Kaufman and Dayton, 1997).

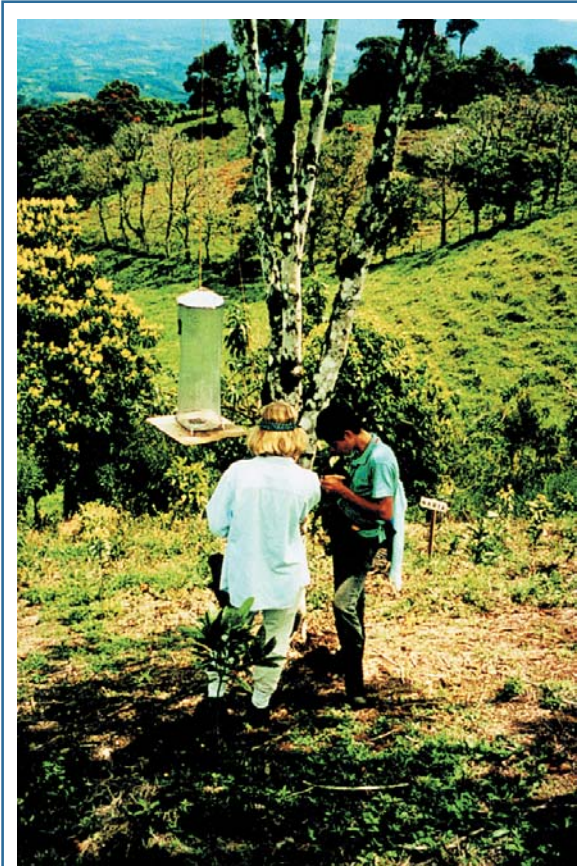
אוכלוסיית ישראל צורכת 66,000 טון דגים בשנה (ממוצע של עשר השנים 1993-2003, שנתון סטטיסטי לישראל, 1996-2003), מתוכם היבול הישראלי הוא 11,000 טון: 6,000 טון הם דגי ים וכינרת, 2,000 טון הם דגי בריכות, 3,000 טון הם דגי חקלאות ימית והשאר, כ-55,000 טון,

אחוזים מצריכת האנרגיה בעולם מסופקים על ידי עץ לבעירה וחומרים צמחיים אחרים. בארצות מתפתחות ביומסה זו מספקת כמעט 40 אחוזים מצריכת האנרגיה (Hall et al., 1993). אף-על-פי שלא ידוע מהו החלק שמגיע ממערכות אקולוגיות טבעיות ולא מאלו הנשלטות על ידי האדם. נוסף על כך, חומרי טבע המופקים ממאות רבות של מינים תורמים בצורות שונות לכלכלה: גומי, שמנים חיוניים וחומרי טעם, שרפים, חומרי צבע, שמנים צמחיים ושעווה, חומרי הדברה נגד חרקים ואינספור תרכובות נוספות (Myers, 1983; Leung and Foster, 1996). זמינותם של מרבית המוצרים האלו נמצאת בירידה כתוצאה משינוי מתמשך של בתי הגידול.

בישראל נצרכים מוצרים חקלאיים מעטים ישירות מהטבע. המוצר החקלאי היחיד בישראל אשר תלוי במידה רבה (אך לא מלאה!) בשירות המערכת הטבעית הוא הדבש. צמחי תבלין וצמחי רפואה הגדלים בר היו וחלקם עודם נתונים בסכנה בגלל קטיפת יתר, אך הגידול החקלאי שלהם הולך ומתפשט ומקטין את האיום לקיומם בטבע. דוגמא לכך הוא האזוב המצוי ("זעתר"), צמח בר נפוץ שקיומו היה בסכנה כתוצאה מקטיפה מואצת. עקב כך הוא זכה להגנה על ידי חקיקה ואכיפה, ובמקביל הושבחו שני זנים לגידול חקלאי (תחנת מחקר נווה יער, 2004).

ייצור וקיום המגוון הביולוגי

המגוון הביולוגי הוא מושג המתייחס למגוון של צורות החיים בכל רמות הארגון, מהרמה המולקולרית ועד לרמה הנופית. המגוון הביולוגי נוצר ומתקיים במערכות אקולוגיות טבעיות, שבהן האורגניזמים מתמודדים עם תנאי מחיה מגוונים ועם אירועים אקראיים, שמעצבים את ההתפתחות שלהם בדרכים ייחודיות. כתוצאה מנוחיות או מכורח המגוון הביולוגי בדרך כלל מכומת במושגים של מספר המינים, והתייחסות זו השפיעה מאוד על יעדי השימור. מכל מקום חשוב לזכור, שהתועלות, שהמגוון הביולוגי מספק לאנושות, מגיעות מאוכלוסיות של מינים המתגוררים בחברות החיות בתנאים פיזיים מסוימים – במילים אחרות, דרך מערכות אקולוגיות מורכבות (Daily and Ehrlich, 1995). כדי שאנשים יתפסו את מלוא התועלת האסתטית, הרוחנית והכלכלית של המגוון הביולוגי, מערכות אקולוגיות צריכות להיות נגישות. המשך הקיום של מיני עצי מחט אי-שם בעולם לא יסייע לתושבי עיר הסובלת משיטפונות, הנובעים מברוא יער האורנים שנמצא במעלה הזרימה של הנהר. בדרך כלל, שטף מוצרי המערכת האקולוגית ושירותיה באזור נקבע על ידי הסוג, הפיזור המרחבי, השיעור והקירבה של המערכות האקולוגיות המספקות אותם. בשל כך, שימור של אוכלוסייה אחת בלבד של כל מין, שאינו אדם, על פני כדור הארץ – בגני חיות,



איור 5: לכידה ושחרור של פרפרים בנות מעורב חקלאי בקוסטה ריקה. ניטור ההשפעה של פעילות האדם על המגוון הביולוגי ועל שירותי המערכת האקולוגית הוא צורך בכל רחבי העולם; פרפרים עשויים לשמש אינדיקטורים שימושיים לניטור. (נילום: Paul R. Ehrlich)

שיפון, שיבולת שועל ודגנים אחרים (Sala and Paruelo, 1997). במגוון רחב של בתי גידול יבשתיים אנשים צדים בעלי חיים שונים כמו למשל עופות מים, איילים, צבאים, שועלים, חזירי בר, ארנבות ואף נחשים וקופים. בארצות רבות בשר ציד מהווה מרכיב חשוב בתזונה המקומית, ובמקומות רבים ציד הוא ספורט חשוב מבחינה כלכלית ותרבותית.

בעבר ציד במזרח התיכון ובארץ הביא להכחדת מינים רבים (שלמון, 1999), כגון: הברדלס, הדוב הסורי, אייל הכרמל, היחמור הפרסי והראם הערבי, אך כיום הציד הוא גורם שולי בתרבות הפנאי ובכלכלה.

מערכות אקולוגיות טבעיות מייצרות גם צמחייה שבה משתמש האדם ישירות לצרכים שונים: מזון, עץ, חומר הסקה, סיבים, חומרים תרופתיים ותעשייתיים. פירות, אגוזים, פטריות, דבש, מזונות נוספים ותבלינים נאספים ממיני יער רבים. עץ וחומרים אחרים מהצומח מנוצלים לבניית בתים ושאר מבנים כמו גם לייצור רהיטים, כלים חקלאיים, נייר, ביגוד, חבלים ועוד. כ-15

נוסף על קיום היצרנות של גידולים מסורתיים, המגוון הביולוגי במערכות אקולוגיות טבעיות יכול לכלול פוטנציאל של מיני מזון חדשים. האדם השתמש עד כה במהלך ההיסטוריה ב-7,000 מיני צמחים למזון ועוד בכ-70,000 מינים המוכרים כאכילים (Wilson, 1989). לעומת זאת, רק 150 מינים תורבתו אי פעם בקנה מידה רחב. כיום, 82 מיני צמחים תורמים 90 אחוזים מאספקת המזון מהצומח לאדם בארצות הברית (Prescott-Allen and Prescott-Allen, 1990), ומספר קטן אף יותר של מינים מספקים את עיקר הקלוריות שאנו צורכים. בגלל העלייה בהמלחת הקרקעות באזורי חקלאות מושקים והפוטנציאל לשינויי אקלים מהירים, הביטחון במזון עשוי להיות תלוי בזנים עמידים לבצורות ולמליחות הממלאים כיום תפקיד מזערי בחקלאות.

נפנה את תשומת לבנו לחומרי טבע לתעשיית התרופות: סקר עדכני הראה שמבין 150 תרופות המרשם הנפוצות ביותר בארצות הברית, 118 (78%) מבוססות על חומרי טבע: 74% מצמחים, 18% מפטריות, 5% מחיידקים ו-3% מחולייתנים (נחשים). תשעה מבין עשרת הראשונים ברשימה זו מבוססים על חומרי טבע צמחיים (Grifo and Rosenthal, in press, as cited in Dobson, 1995). הערך המסחרי של חומרים תרופתיים במדינות המפותחות עולה על 40 מיליארד דולר בשנה (Principe, 1989). אם מסתכלים על התמונה העולמית, כ-80 אחוזים מהאוכלוסייה האנושית מסתמכת על מערכות רפואיות



צילום: Michael Graybill & Jan Hodder/Biological Photo Service

איור 6: הקליפה של עץ היו הפסיפי (*Taxus brevifolia*) אשר היא המקור לתרופה אנטי-סרטנית, טקסול, היער הלאומי וויליאמט, אורגון, ארצות הברית. מעריכים כי 80 אחוזים מאוכלוסיית העולם מסתמכת על מוצרי בריאות טבעיים.

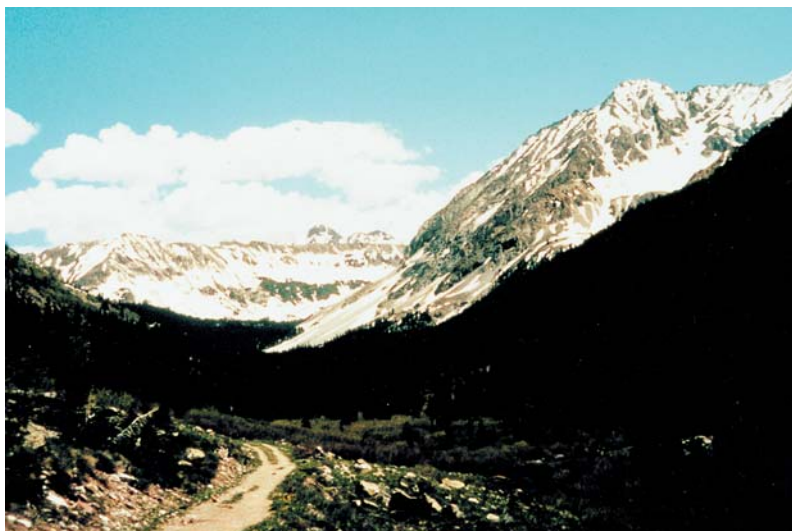
בגנים בוטניים ובאזורים מוגנים אחרים בעולם – לא יקיים את החיים, כפי שאנחנו מכירים אותם. למעשה, אסטרטגיה קיצונית מסוג זה תוביל לקריסה של הביוספרה, על שירותיה המקיימים את החיים.

כאמור, המגוון הביולוגי הוא המקור הישיר למוצרים מהמערכת האקולוגית. הוא גם מספק את המקורות הגנטיים והביוכימיים, שעליהם מתבססים כיום פיתוחים חקלאיים ותרופתיים, אשר יוכלו לאפשר לנו להתאים ענפי כלכלה אלו לשינויים העולמיים. יכולתנו להגדיל את יצרנות הגידולים החקלאיים אל מול מזיקי חקלאות חדשים, מחלות ועקות נוספות תלויה מאוד בהשבת הגידולים החקלאיים בגנים המצויים בקרוביהם, צמחי הבר, המקנים להם עמידות בפני מפגעים אלו. מיצוי גנים אלו מה"ספרייה הגנטית" עומדים מאחורי גידול שנתי של אחוז אחד בשנה ביצרנות של הגידולים, המוערך ב-1 מיליארד דולר (NRC, 1992). הביוטכנולוגיה מאפשרת כיום שימוש נרחב יותר במאגר הטבעי הזה של שונות גנטית דרך העברת גנים מכל אורגניזם לגידולים החקלאיים – לא רק ממינים קרובים, והיא מבטיחה למלא תפקיד חשוב בגידול היבולים בעתיד. עד מחצית המאה צפוי, כי המכירות של מוצרים ביוטכנולוגיים חקלאיים, אשר רק כעת נכנסים לשוק, יהיו בהיקף של 10 מיליארד דולר בשנה לפחות (World Bank 1991, cited in Reid et al., 1996).



צילום: Catherine M. Pringle/Biological Photo Service

איור 7: רוקחת צמחי מרפא בדאלי, מחוז יונאן, סין. על פי הערכות, כ-80 אחוזים מאוכלוסיית העולם מתבססת על תרופות ממקור טבעי.



צילום: Gretchen C. Daily

איור 8: ראשית הקיץ בהרי הרוקיס, קולורדו, ארצות הברית. יערות סוב-אלפתיים אלו ממתנים שיטפונות, בצורות וטמפרטורות קיצוניות; הם סופגים את הגשמים ואת מי הפשרת השלגים ומשחררים אותם בהדרגה לנחלים ולאטמוספירה, תוך יצירת סערות רעמים מקדרות בשעות אחד הצהריים.

שימור של אוכלוסייה אחת בלבד מכל מין יכול לעלות ביוקר מהיבט נוסף. אוכלוסיות שונות של אותו המין יכולות ליצור סוגים שונים או כמויות שונות של חומרים כימיים בעלי פוטנציאל לתעשיית התרופות או כחומרי הדברה (McCormick et al., 1993); הם גם יכולים לגלות עמידות שונה לעקות סביבתיות, כדוגמת בצורת או מליחות קרקע. לדוגמה, פיתוח הפניצילין כתרופה אנטיביוטית לטיפול רפואי ארך 15 שנים לאחר שאלכסנדר פלמינג גילה את הפניצילין בעובש של לחם; הפיתוח ארך זמן רב, בין היתר משום שהמדענים התקשו בייצור, במיצוי ובניקוי המרכיב הפעיל בכמויות מספקות. מפתח להשגת כמויות כאלו היה הגילוי, אחרי חיפוש חובק עולם, של אוכלוסיית העובש שגילה פלמינג, שייצרה יותר פניצילין מאשר אוכלוסיית המקור (Dowling, 1977). באופן דומה, אוכלוסיות של צמחים שונות ביכולתן לעמוד בפני מזיקים ומחלות, מאפיינים שחשובים לחקלאות. אלפים רבים של זני אורז ממקורות גאוגרפיים שונים נסקרו כדי למצוא זן אחד עם עמידות לוורוס, שאיים באופן רציני על יבול האורז בעולם (Myers, 1983). למרות אין-סוף דוגמאות כאלו, חלק גדול מהמקומות שבהם נמצאים מיני הבר, קרובי המשפחה של מיני התרבות החקלאיים, נותרו לא מוגנים, והם נמצאים עדיין בסכנה.

בישראל צומחים כ-30 מיני צמחים שהם אבות או קרובי בר של מיני תרבות. המפורסם בהם הוא חיתת הבר, הנחשבת ל"אם החיטה" (Zohary, 1983). עד היום לא נעשה מספיק לחשיפת המגוון הגנטי והאקולוגיה של חיתת הבר בגליל ובגולן (Anikster and Noy-Meir, 1991), וישראל אינה משקיעה השקעות ייעודיות שתכליתן היא הגנה על המשאבים הביוגנטיים הללו, אף כי לחלקם ערך מוכח בהשבת צמחי תרבות. גנים שאחראים לתכולת חלבון גבוהה בזרעים וגנים לשיפור העמידות נגד טפילים של חיתת הבר הועברו בהצלחה לזני חיטה מסחריים בישראל,

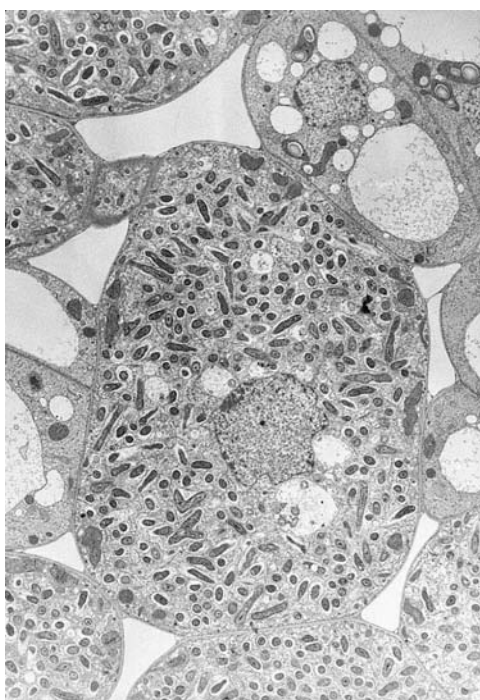
מסורתיות וכ-85 אחוזים מהרפואה המסורתית מבוססת על חומרי טבע מצמחים (Farnsworth et al., 1985).

בפקולטה למדעי החיים באוניברסיטת תל-אביב מצוי מרכז סריקות ארצי לאיתור חומרים חדשים בעלי פעילות ביולוגית. מטרת המרכז היא לתאם בין חוקרים ממוסדות מחקר ומחברות ביוטכנולוגיה ותרופות לשם ניצול הידע שנצבר באורגניזמים במשך עידנים של אבולוציה. במהלך האבולוציה האורגניזמים למדו להתמודד עם סביבתם על ידי שימוש בחומרים כימיים שהתפתחו בקרבם. כך נוצרו חומרים הפעילים נגד חיידקים, פטריות, נגיפים, טורפים או המיועדים לשיתוק טרף וטפילים וכן חומרים לטיפול בבעיות פנימיות כגידולים סרטניים וכדומה. המרכז מיועד למצוא חומרים כאלה היכולים לשמש למטרות אלה בעצמם, או שמחקר מדעי המבוסס עליהם יוביל לפיתוח תרופות חדשות. במרכז אוספים מיצויים כימיים ייחודיים מאורגניזמים שנאספו או גודלו במיוחד כצמחי רפואה ומדבר, מאורגניזמים ימיים (כאצות, ספוגים, אלמוגים ואצטלניים), מפטריות יבשתיות וימיות, מחיידקים פוטוסינתטיים ומחד-תאים ימיים. מיצויים אלו נבדקים בעזרת רובוט משוכלל הסורק ומבצע בעזרת בקרה ממוחשבת מאות ואלפי בדיקות ביממה. הבדיקות מיועדות למצוא במיצויים הללו גורמים כימיים פעילים, במגוון בחינות ביולוגיות בעלות השלכות רפואיות. כימאים של חומרי טבע מפרידים את החומר הפעיל מכלל החומרים במיצוי, לפי תכונות שונות ובהתאם להשפעת החומר בעקבות בדיקות שנעשו על ידי הרובוט. לבסוף הכימאים מזהים את מבנה החומר הפעיל וביולוגים בוחנים את דרכי השפעתו ואת יכולתו להיות מפותח לתרופה.

הוא, כי האקלים והמערכות האקולוגיות הטבעיות מצומדים יחד באופן חזק, ויציבות המערכת המצומדת היא שירות חשוב של המערכת האקולוגית.

לבד מהשפעתן על האטמוספירה, מערכות אקולוגיות מפעילות השפעות פיזיות ישירות שמסייעות למתן את האקלים ברמה האזורית והמקומית. לדוגמה, דיות (שחרור אדי מים מהעלים) מגביל את איבוד הלחות מהאזור ואת עליית טמפרטורת פני השטח. באמזונס, לדוגמה, 50 אחוזים ממוצע הגשם השנתי ממוחזר על ידי היער עצמו דרך התאדות המים מהצמחים ומהקרקע (evapotranspiration) (Salati, 1987). בירוא יער האמזונס עלול להפחית בצורה כה משמעותית את סך כל המשקעים, עד לסכנה להתחדשות היער לאחר שיהרס באופן

צילום: L. Evans Roth/Biological Photo Service



איור 9: חיידק (*Bradyrhizobium japonicum*) בפקעית שורש של צמח פולי סויה, מוגדל פי 3,550. חיידקים אלו מקבעים חנקן אטמוספרי לצורה היכולה להיות מנוצלת על ידי צמחים.

מוחלט (Shukla et al., 1990). טמפרטורות קיצוניות ממוטנות גם על ידי היערות: היערות מספקים צל, מקררים את פני השטח, מתפקדים כמבודדים החוסמים רוחות צורבות, לוכדים חום ומהווים גורם חממה מקומי.

מיתון שיטפונות ובצורות

כמות עצומה של מים, כ-119,000 ק"מ מעוקב, יורדת מדי שנה כגשם על פני כדור הארץ – די כדי לכסות את שטח היבשות לעומק של מטר אחד בממוצע (Shiklomanov, 1993).

וגן בשיבולת שועל מן הבר של ישראל המקנה עמידות למחלות משמש עתה להגנת מספר זני שיבולת שועל מסחריים בארצות הברית (Gabbay, 1997).

אקלים וחיים

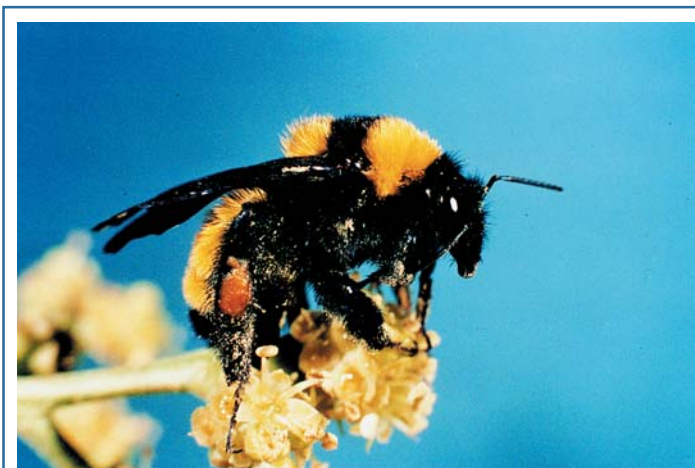
אקלים כדור הארץ עבר תנודות ושינויים רבים מאז הופיעה האנושות. בשיא עידן הקרח האחרון, לפני 20,000 שנה בערך, לדוגמה, חלקים גדולים מאירופה ומצפון אמריקה היו מכוסים בשכבת קרח בעובי של 1.6 ק"מ. בעוד שאקלים כדור הארץ היה יציב יחסית מאז המצאת החקלאות לפני כ-10,000 שנה, שינויים תקופתיים באקלים השפיעו על פעילות האדם ועל דגמי ההתיישבות שלו. אפילו יחסית לעת האחרונה, בשנים 1850-1550 אירופה הייתה קרירה באופן משמעותי, תקופה שקיבלה את השם 'עידן הקרח הקטן'. מקובל לחשוב, כי חלק גדול משינויים אלו נגרמו על ידי שינוי במסלול הסיבוב של כדור הארץ או בפליטת האנרגיה של השמש, או אפילו על ידי אירועים שאירעו על פני כדור הארץ – הפרעות פתאומיות, כגון: התפרצויות געשיות, פגיעת אסטרואידים או שינויים טקטוניים מדורגים יותר, כגון: התרוממות ההימלאיה. עם זאת יש לציין, כי במהלך כל השינויים הללו אקלים כדור הארץ נשמר יציב דיו כדי לקיים חיים כבר לפחות 3.5 מיליארד שנים (Schneider and Londer, 1984), והחיים עצמם מילאו תפקיד מרכזי בשימור יציבות זו.

האקלים, כמובן, ממלא תפקיד מהותי באבולוציה ובפיזור של החיים על פני כדור הארץ. עם זאת, מרבית המדענים מסכימים, כי החיים עצמם מהווים גורם מרכזי בוויסות של האקלים העולמי ומסייעים לאזן את מרבית ההשפעות של תנודות חד-פעמיות של האקלים על ידי תגובה בדרכים, שמשנות את הרכיזים של גזי החממה באטמוספירה. לדוגמה, מערכות אקולוגיות טבעיות סייעו אולי לייצב את האקלים ולמנוע חימום יתר של כדור הארץ על ידי סילוק הולך וגדל של גז החממה דו תחמוצת הפחמן מהאטמוספירה, ככל שהשמש הפכה זוהרת יותר במשך מיליוני שנים (Alexander et al., 1997). החיים מפעילים גם משוב שמונע יציבות או שמגביר את שינוי האקלים, במיוחד בתקופות מעבר שבין עידי קרח. לדוגמה, כאשר התקררות האקלים מובילה לירידה במפלס הים, מדפי היבשת נחשפים לרוח ולגשם, וישנו נגר רב יותר של נוטריאנטים לאוקיינוסים. נוטריאנטים אלו מעודדים גידול של פיטופלנקטון (פלנקטון צמחי), אשר לחלק גדול ממנו יש שלד גירני. גידול באוכלוסייתיהם גורם לסילוק רב יותר של דו תחמוצת הפחמן מהאוקיינוס ומהאטמוספירה, מנגנון שעשוי לקרר עוד יותר את האטמוספירה. יצורים חיים יכולים גם להגביר את מגמות ההתחממות על ידי פעילויות, כדוגמת פירוק חיידקי של חומר אורגני מת, ועל ידי כך – שחרור של דו תחמוצת הפחמן לאטמוספירה (Schneider and Boston, 1994; Allegre and Schneider, 1991). ההשפעה של החיים בדרך של משוב מייצב ומערער עדיין אינה ברורה; מה שברור

תקופה של ארבעה חודשים של משך הניסוי כמות הנגר הייתה פי חמישה מאשר לפני הבירוא (Bormann 1968). בקנה מידה הרבה יותר גדול נראה, כי כריתת יערות נרחבת בהרי ההימלאיה החמירה את השיטפונות בבנגלדש, אם כי החלק היחסי של תרומת הכוחות האנושיים והטבעיים לתופעה נותר שנוי במחלוקת (Ives and Messerli, 1989). זאת ועוד, אזורים מסוימים בעולם כמו, למשל, חלקים באפריקה חווים עלייה בתדירות ובחומרת הבצורות, שקשורה כנראה לכריתת יערות בהיקף רחב.

בתי גידול לחים ידועים במיוחד כחשובים לווטות שיטפונות ויכולים לא פעם לצמצם את הצורך בבניית מתקנים לבקרת השיטפונות. יערות במישורי הצפה ומלחות, לדוגמה, מאטים את זרימת שטף המים ומאפשרים למשקעים לשקוע במישור ההצפה במקום להישטף במורד הזרימה למפרצים או לאוקיינוסים. נוסף על כך, בתי גידול לחים מבודדים, כמו שקעי קרקע מקומיים בערבה של המערב התיכון בארצות

הברית משמשים כאזורי עיכוב בזמן של גשמים עזים. הם מעכבים את רוית הקרקע העליונה ואת שטף הזרימה על הקרקע לנהרות וכך מונעים זרימות שיא. שמירה על שלמות בתי גידול לחים אלו על ידי השארת הצמחייה, הקרקע ומשטרי מים טבעיים ללא שינוי יכולה לצמצם את חומרת הנהרות (Ewel, 1997).



איור 10: הדבורה (Sonoran bumble bee) (*Bombus sonororus*) מאביקה פרז. (צילום: Peter J. Bryant/Biological Photo Service)

בישראל היו בעבר שטחי ביצות רבים.

שטחים אלו יובשו במטרה להילחם במחלת המלריה, "לכבוש" את הקרקע לצורכי פיתוח ולהטות את המים שהזינו את הביצות לשימוש האדם (Dimmentman et al., 1992). ייבוש החולה מהווה סיכון לכינרת, משום שהחשיפה של תשתית הכבול של החולה לאוויר הביאה לחמצון חומר אורגני עשיר זה, ובעקבותיו – למינרליזציה ולהעשרת הכינרת בנוטריאנטים בעלי פוטנציאל ל"פריחת אצות" ולפגיעה באיכות המים. כמי שתייה (National Research Council, 1999). נוסף על כך, ייבוש החולה, כמו גם הקטנת שטחן וחיסולן של מערכות אקולוגיות לחות אחרות, הביאו לאובדן משמעותי של מגוון ביולוגי, חלקו מינים שהתקיימו רק בארץ, ושל נופי ארץ ייחודיים בעלי ערך רוחני לאדם (Dimmentman et al., 1992).

חלק גדול ממים אלו נספגים בקרקע ובאופן הדרגתי עוברים החוצה באמצעות שורשי הצמחים או מגיעים לאקוויפרים (מאגר מי תהום) ולזרימה על פני השטח. כך, הקרקע עצמה מאיטה את שטף הזרימה של המים מהיבשה בשיטפונות פתאומיים. עם זאת, אדמה חשופה נותרת פגיעה. צמחים ושאריות צמחים מגנים על הקרקע בפני מלוא עוצמתן ההרסנית של טיפות הגשם ומחזיקים אותה במקומה. כאשר נופים הופכים ערומים, הגשם דוחס את פני השטח והופך מהר מאוד את הקרקע לבוץ (במיוחד אם פוררו אותם קודם לכן על ידי חריש); הבוץ אוטם את החללים על פני שטח הקרקע, מפחית את חלחול המים פנימה, מגביר את הנגר העילי ומגדיל עוד יותר את איטום פני השטח. חלקיקי קרקע שנפרדו, נשטפים במורד ומסולקים על ידי זרם המים (Hillel, 1991).

סחף של קרקע גורם נזקים לא רק לאתר שממנו אבדה הקרקע אלא גם למערכות מימיות, טבעיות ומעשי ידי אדם, שבהן החומר מצטבר. העלויות המקומיות של היווצרות סחף כוללות ירידה ביכולת היצרנות, צמצום החלחול, ירידה בזמינות המים ואובדן נוטריאנטים. המחיר במורד הזרימה יכול לכלול הפרעות או ירידה באיכות של אספקת המים; הצטברות סחף הפוגעת בניקוז ובתחזוקה של נתיבי מים בנהרות, במעגנים ובמערכות השקיה; עלייה בשכיחות ובחומרה של שיטפונות וירידה בפוטנציאל של הכוח ההידרואלקטרי עם

מילוי מאגרי המים במשקעי סחף (Pimentel et al., 1995). עלות ההחלפה של קיבולת המאגרים ברחבי העולם, אשר הולכים לאיבוד כתוצאה ממילוי על ידי סחף, מוערכת ב-6 מיליארד דולר בשנה.

נוסף על הגנה על הקרקע מפני סחף, צמחייה – בעלת שורשים עמוקים ופני שטח לדיות – משמשת גם משאבת ענק, המחזירה מים מהקרקע לאטמוספירה. ניקוי השטח מכיסוי הצומח מפריע לחוליה זו של מחזור המים ומוביל לעלייה פוטנציאלית בנגר העילי, יחד עם אובדן קרקע ונוטריאנטים. דוגמה קלסית לכך אפשר לראות בניסוי של בירוא יער שנגרץ בניו-המפשייר, שבו קוטל עשבים שפוזר לאחר בירוא השטח מנע צימוח חוזר במשך שלוש שנים. התוצאה הייתה עלייה של 40 אחוזים בזרימת הנחלים. במשך

שירותים המסופקים על ידי הקרקע

האדמה מהווה מרכיב חשוב בנכסי כל אומה; זהו נכס שנצבר במשך מאות עד מאות אלפי שנים, ועם זאת עלול לאבד תוך שנים ספורות. ישנן תרבויות ששאבו כוח רב מאדמתן הפורייה, ולעומת זאת, אובדן הפוריות כתוצאה מממשק לקוי נחשב לגורם שדחק חברות משגשגות לאבדן (Adams, 1981). כיום, הרס קרקע כתוצאה מפעולות האדם פוגע בכמעט 20 אחוזים מפני השטח היבשתיים המכוסים צומח (Oldeman et al., 1990).

נוסף למיתון מחזור המים, כפי שתואר לעיל, הקרקע מספקת חמישה שירותים נוספים הקשורים זה בזה (Daily et al., 1997). ראשית, הקרקע מגנה על הזרעים ומשמשת מצע פיזי לנביטתם ולגדילתם של צמחים בוגרים. העלות של אריזת הזרעים ואחסונם ושל עיגון שורשי הצמחים תהיה עצומה ללא קרקע. מערכות הידרופוניות שהנדס האדם יכולות לגדל צמחים בהיעדר קרקע, ועלותן משמשת גבול תחתון כדי להעריך את שוויו של שירות זה. עלות המגשים והמעמדים התומכים פיזית, שבהם משתמשים בגידולים אלו, מסתכמת ב-5,500 דולר לדונם (for the Nutrient Film Technique Systems; FAO, 1990).

שנית, הקרקע משמרת ומובילה נוטריאנטים לצמחים. חלקיקי קרקע זעירים (פחות מ-2 מיקרון בקוטר), שהם בעיקר פיסות רקבובית וחרסיות, נושאים על פני השטח שלהם מטען חשמלי שהוא בעיקרו שלילי. תכונה זו מחזיקה נוטריאנטים בעלי מטען חיובי – קטיונים, כגון: סידן ומגנזיום – קרוב לפני השטח, בקרבה לשורשי הצמחים, ומאפשרת להם להיקלט באופן הדרגתי. אילולא כן נוטריאנטים אלו

היו נשטפים במהירות משם והלאה. הקרקע משמשת גם כבופר בזמן דישה, היות שהיא מחזיקה את היונים של הדשן עד שהם נדרשים על ידי הצמחים. מערכות הידרופוניות מספקות מים ונוטריאנטים לצמחים גם ללא צורך בקרקע, אבל בתנאים אלו תחום השיגאה קטן הרבה יותר – אפילו עודפים קטנים בנוטריאנטים שניתנים בשיטה הידרופונית, יכולים לגרום לצמחים למות. למעשה, וויסות ריכוזי הנוטריאנטים, ה-pH והמליחות של תמיסת הנוטריאנטים במערכות הידרופוניות, כמו גם וויסות טמפרטורת האוויר והתמיסה,

האור, המזיקים ומחלות הצמחים הוא מבצע מסובך. השטח המצוי בגידול הידרופוני ברחבי העולם הוא רק מספר עשרות אלפי דונם, ולא סביר שיגדל באופן משמעותי בעתיד הנראה לעין. לעומת זאת, שטח הגידולים החקלאיים הוא 14 מיליארד דונם (USDA, 1993).

שלישית, הקרקע ממלאת תפקיד מרכזי בפירוק של חומר אורגני מת ופסולת, ותהליכי פירוק אלו הופכים גם פתוגנים רבים ללא מזיקים לאדם. אנשים מייצרים כמויות עצומות של פסולת – אשפה ביתית, פסולת תעשייתית, ושאריות חקלאות – ושפכים, שלהם ושל מיליארדי חיות המשק שהם מגדלים. בהערכה גסה, כמות החומר האורגני המת והפסולת (בעיקר שאריות חקלאות) המפורקים מדי שנה היא 130 מיליארד טון, ו-30 אחוזים משיעור זה קשורים לפעילות האדם (נלקח מ- Vitousek et al., 1986). למרבה המזל, ישנו מגוון רחב של יצורים מפרקים – מנשרים ועד חיידקים זעירים – הממציא אנרגיה ממולקולות אורגניות גדולות הנמצאות בסוגים רבים של פסולת. כמו פועלי קו ייצור, מינים מיקרוביאליים שונים ומגוונים מעבדים את התרכובות המסוימות, שאת קשריהן הכימיים הם מסוגלים לבקע, ומעבירים הלאה את תוצרי התגובות הייחודיות שלהם למינים אחרים. חומרי פסולת תעשייתית רבים, ובכללם סבונים, דטרגנטים, חומרי הדברה, שמנים, חומצות ונייר, מנוטרלים מרעליהם ומפורקים על ידי אורגניזמים במערכות האקולוגיות הטבעיות, אם ריכוז הפסולת אינו עולה על קיבולת המערכת להמיר אותה. עם זאת, חלק מהפסולת המודרנית אינה ניתנת לפירוק, כגון: חלק מהחומרים הפלסטיים ותוצרי הפירוק של חומר ההדברה DDT.



איור 11: לרווה של מושית (Cycloneda polita) אוכלת כנימה. (צילום: Peter J. Bryant/Biological Photo Service)

החומרים האנאורגניים הפשוטים שנובעים מפירוק טבעי מוחזרים בסופו של דבר לצמחים כנוטריאנטים. על כן, הפירוק של פסולת והמחזור

של נוטריאנטים – השירות הרביעי שהקרקע מספקת – הם שני היבטים של אותו התהליך. פוריות הקרקעות – כלומר, יכולתן לספק נוטריאנטים לצמחים – היא בעיקר תוצאת פעילותם של מינים שונים ומגוונים של חיידקים, פטריות, אצות, סרטניים, קרדיות, טרמיטים, חרקים פרימיטיביים חסרי כנפיים (קפזנביים), מרבי רגליים ותולעים, אשר כולם, כקבוצות, ממלאים תפקיד מרכזי. חלק מהחיידקים אחראים ל"קיבוע" חנקן, מרכיב מפתח בחלבונים, על ידי תפיסתו מהאטמוספירה והמרתו לצורות, שיכולות להיות מנוצלות על ידי צמחים ולבסוף על ידי אנשים ובעלי חיים אחרים. מינים

האבקה

האבקה על ידי בעלי חיים נדרשת לרביוי המוצלח של מרבית הצמחים בעלי הפרחים. מבין 240,000 מיני צמחים, אשר לגביהם יש תיעוד לגבי אופן ההאבקה שלהם, כ-220,000 זקוקים לבעל חיים כלשהו לצורך האבקתם. עובדה זו נכונה למיני בר, אך גם לכ-70 אחוזים מגידולי החקלאות המזינים את העולם. יותר מ-100,000 מינים שונים של בעלי חיים, ובכללם עטלפים, דבורים, חיפושיות, ציפורים, פרפרים וזבובים ידועים כמספקים שירותי האבקה חנים ומבטיחים את המשך קיומם של הצמחים בשדות היבול שלנו, בחצרות ובגנים, בשדות המרעה וביערות. עם זאת, הזמינות של מאביקים אלו תלויה בקיומם של מגוון רחב של בתי גידול הנדרשים להם לתזונה, לרבייה מוצלחת ולהשלמת מחזור חייהם (Nabhan and Buchmann, 1997).

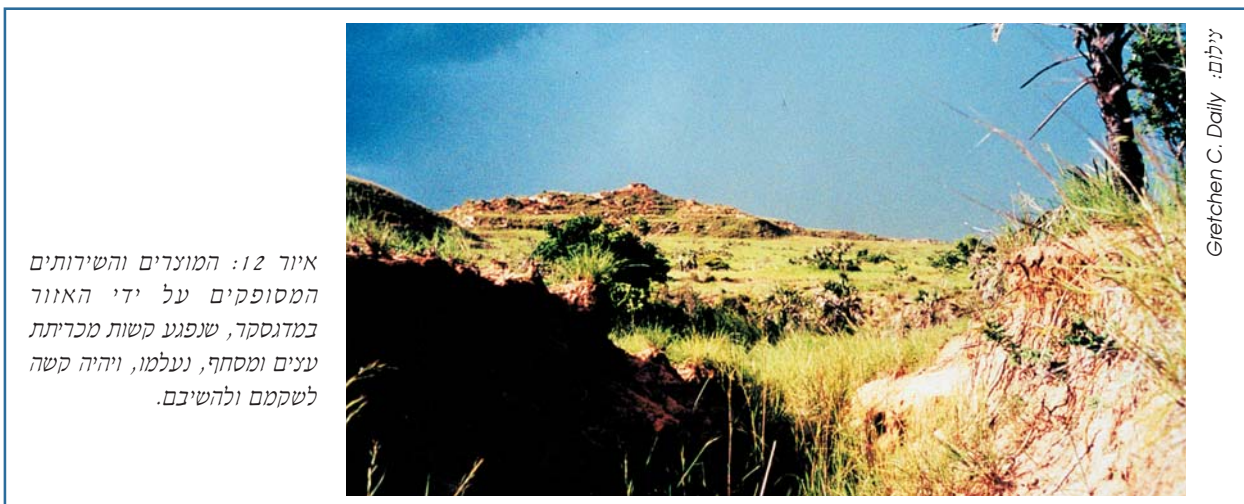
שליש ממזונו של האדם מגיע מצמחים המואבקים על ידי מאביקים מהבר. ללא שירותי האבקה טבעיים, יבול של גידולים חקלאיים חשובים ידעך במהירות, וצמחי בר רבים ייכחדו. בארצות הברית בלבד הערך החקלאי של מאביקי בר מקומיים – אלו המתקיימים בבתי גידול טבעיים הסמוכים לשטחים חקלאיים – מוערך במיליארדי דולרים בשנה. האבקה על ידי דבורי דבש, שבמקור יובאו מאירופה לארצות-הברית, היא גם מאוד חשובה, אבל מספרן של דבורים אלו נמצא כיום בירידה, ועובדה זו מדגישה את הצורך במאביקים ממערכות אקולוגיות טבעיות. ממשק דבורי דבש בעולם החדש מאוים כיום על ידי זן אפריקאי תוקפני של דבורת דבש, ששחרר בטעות בברזיל ב-1956 ומכליא עם מינים מקומיים. גם מחלות של מושבות דבורת הדבש גורמות לירידה משמעותית במספר המושבות המנוהלות. במקביל, מגוון המאביקים הטבעיים הזמין לצמחים המתורבתים ולמיני הבר מצטמצם מאוד: יותר מ-60 סוגים של מאביקים כוללים מינים הנחשבים כמי שנמצאים בדרגות שונות של סכנת הכחדה או שכבר נעלמו (Buchmann and Nabhan, 1996).

תלותה של החקלאות הישראלית בשירותי ההאבקה של מערכות טבעיות לא כומתה עד כה. חלק משמעותי מהחקלאות הישראלית מתבצע בבתי צמיחה ("חממות"), שרוב הזמן אינם נגישים למאביקים מהטבע. דווקא על רקע מציאות זו ניצלה התעשייה החקלאית הישראלית מין בר של מאביק ישראלי (דבורת הבומבוס) לצורך האבקה "תעשייתית" בחממות (שדה אליהו, 2004). שאלה אחרת המצפה לתשובה היא, באיזו מידה נפגעו השירותים של מערכות אקולוגיות טבעיות בישראל מההשפעה של מדברי מזיקים בשימוש חקלאי על המאביקים הטבעיים המעורבים בהאבקה של צמחי מערכות אלה.

מסוימים של פטריות הם בעלי תפקיד חשוב במיוחד באספקת נוטריאנטים למינים רבים של עצים. שלשולים ונמלים משמשים "מערבלים מכניים", כשהם מפזרים ומערבבים חומר צמחי, מיקרוביאלי ואחר (Jenny, 1980). לדוגמה, יותר מ-10 טון של חומר יכולים לעבור דרך גופם של שלשולים ב-10 דונם בשנה, והם יוצרים "ציקות" עשירות בנוטריאנטים שמגבירות את יציבות האדמה, האורור והניקוז שלה (Lee, 1985).

לבסוף, קרקעות הן מרכיב מרכזי בוויסות מחזורי החומרים העיקריים של כדור הארץ – של הפחמן, החנקן והגפרית. כמויות הפחמן והחנקן שאגורות בקרקעות מגמדות את המצוי בצמחייה. למשל, כמות הפחמן בקרקע גדולה פי 1.8 מאשר בחומר הצמחי, וכמות החנקן בקרקעות גדולה פי 18 (Schlesinger, 1991). שינויים במחזורי הפחמן והחנקן יכולים לעלות ביוקר לטווח הארוך, ובמקרים רבים הם בלתי הפיכים בטווח הזמן המעניין את החברה האנושית. שטפים גדולים יותר של פחמן לאטמוספירה, כפי שקורה בזמן ששטח אדמה מוסב לחקלאות או כאשר בתי גידול לחים מנוקזים, תורמים להצטברות גזי חממה מרכזיים באטמוספירה, במיוחד של דו תחמוצת הפחמן ומתאן (Schlesinger, 1991). שינויים בשטפי החנקן הנגרמים על ידי ייצור ושימוש בדשנים, שריפת עץ ודלקים אחרים מהבימוסה ופירוק של שטחים טרופיים מובילים לעלייה בריכוזי Nitrous Oxide (N₂O), גז חממה נוסף המעורב גם בהרס שכבת האוזון הסטרטוספירית. שינויים אלו ואחרים במחזור החנקן יכולים לגרום גם לגשם חומצי ולכניסת עודף נוטריאנטים למערכות מים מתוקים, לשפכי נהרות ולמי חופים. שטף נוטריאנטים זה פנימה גורם לאאוטרפיקציה – להעשרה בחנקן של מערכות אקולוגיות מימיות ולזיהום מקורות מי שתייה – על פני השטח ובמי התהום – על ידי רמות גבוהות של ניטראט (NO₃) וחנקן (Vitousek et al., 1997).

ישראל ממוקמת ב-40 אחוזים מהשטח היבשתי של כדור הארץ המוגדר צחיח ובו כמויות משקעים נמוכות והתאדות פוטנציאלית גבוהה. אזורים אלה חשופים במיוחד לפגיעה בשירותי הקרקע, אשר מאבדת את פוריותה בעקבות אובדן חומר אורגני, נוטריאנטים, כושר להחזקת מים ולכן למחזור חומרים, ולבסוף – אובדן הקרקע עצמה. תופעות אלה קרויות "ניוון הקרקע", וכאשר הן קורות באזורים צחיחים הן מכונות "מדבור" (United Nations Convention to Combat Desertification, 2000). אין עדיין הערכה כמותית לממדי המדבור וקצבו בישראל, אך אחד מביטויי המדבור הנראה היטב על פני השטח – תופעת העירוז – נעשה נפוץ יותר ויותר בעיקר בשולי הנגב, בסמיכות לשטחי מרעה, לדרכי עפר ולכבישים וליד שטחי עיבוד חקלאי (United Nations Convention to Combat Desertification, 2002).



צילום: Gretchen C. Daily

איור 12: המוצרים והשירותים המסופקים על ידי האזור במדגסקר, שנפגע קשות מכריתת עצים ומסחף, נעלמו, ויהיה קשה לשקמם ולהשיבם.

באדם, יכולה להיות בחלקה תוצאה של חשיפה כזו (Colborn et al., 1996).

למרבה המזל, כ-99 אחוזים ממזיקי החקלאות הפוטנציאליים מבוקרים על ידי אויבים טבעיים: ציפורים רבות, עכבישים, צרעות פרזיטיות וזבובים, מושיות, פטריות, נגיפים ויצורים רבים נוספים (DeBach, 1974). סוכני בקרה ביולוגית אלו חוסכים לחקלאים מיליארדי דולרים בשנה בשל ההגנה שהם נותנים לגידולים ועקב כך – הפחתת הצורך בהדברה כימית (Naylor and Ehrlich, 1997).

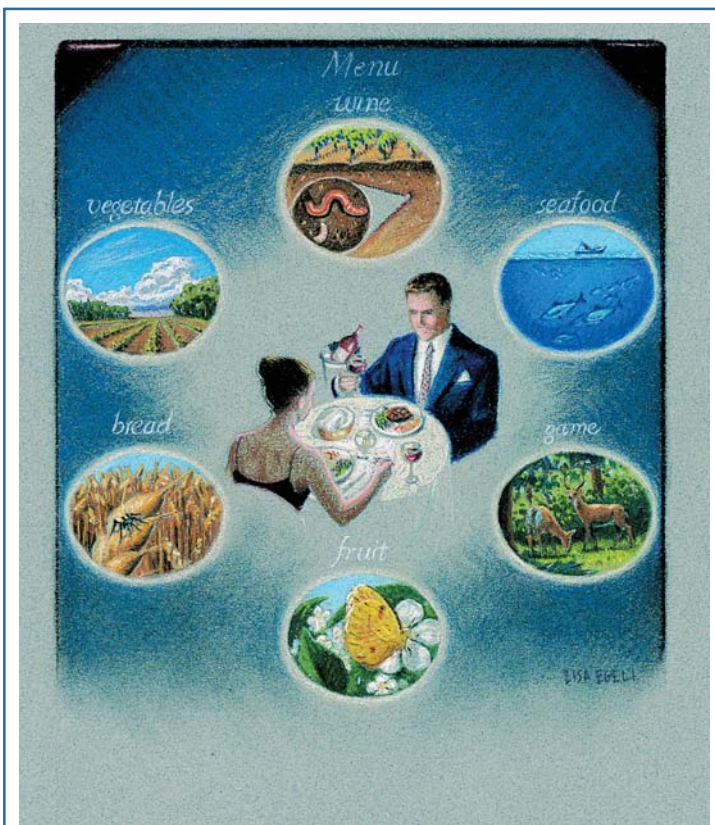
הפצת זרעים

מרגע שזרע נובט, הצמח שגדל ממנו בדרך כלל מושרש במקומו לשארית חייו. על כן, תנועתם של הצמחים לאתרים חדשים מעבר לצלו של צמח האם מושגת על ידי הפצת הזרעים. זרעים רבים, דוגמת אלו של שן הארי (משפ' המורכבים), מופצים על ידי הרוח. חלקם מופצים על ידי מים. המפורסם ביניהם הוא הקוקוס המוסע על ידי האוקיינוסים. זרעים אחרים מופצים על ידי בעלי חיים. זרעים אלו יכולים להיות ארוזים בפרי ערב לחכו של בעל חיים, כגמול על שירותי ההפצה שלו; חלק מזרעים אלו אפילו דורשים מעבר דרך מערכת העיכול של הציפור או היונק, לפני שהם יכולים לנבט. אחרים דורשים הטמנה – על ידי עורבני שכחן או סנאי אשר משאיר את אוצרותיו בלתי אכולים – לצורך נביטה. לאחרים יש פני שטח דביקים או שהם בעלי זיזים המעוצבים באופן שיוכלו להיתפס על בעל חיים עובר ולתפוס עליו "טרמפ", לפני שיפלו או יגורדו ממנו. ללא אלפי מינים של בעלי חיים המשמשים כמפיצי זרעים, צמחים רבים לא יצליחו להתרבות בהצלחה. לדוגמה, אורן לבן-קליפה (*Pinus albicaulis*), עץ שמצוי בהרי הרוקי וברכס הסיירה נבדה-קסקייד בצפון מערב ארצות הברית, לא יכול להתרבות ללא ציפור הנקראת מפצחת האגוזים של קלארק (*Nucifraga Clark's Nutcracker*) אשר מחלצת את זרעי האורן מתוך האצטרובלים הסגורים בחוזקה, מפיצה ומטמינה אותם; ללא

שירותי הדברה ביולוגית של מזיקים

המינים המתחרים באנושות על מזון, על עץ, על כותנה ועל סיבים נוספים נקראים מזיקים, והם כוללים חרקים רבים אכולי צמחים, מכרסמים, פטריות, חלזונות, נמטודות ווירוסים. מזיקים אלו הורסים כ-25 עד 50 אחוזים מהגידולים בעולם, לפני הקציר/קטיף או אחריו (Pimentel et al., 1989). נוסף על כך, עשבים רעים רבים מתחרים באופן ישיר עם הגידולים החקלאיים על מים, על אור ועל נוטריאנטים בקרקע ומגבילים עוד יותר את תפוקת היבולים.

חומרי הדברה כימיים ואופני השימוש בהם במלחמה כנגד המזיקים יכולים להיות, שלא בכונה, בעלי השלכות הרסניות. ראשית, מזיקים יכולים לפתח עמידות, שפירושה צורך להשתמש במינונים גדלים והולכים של חומרי ההדברה, או צורך לפתח מדי פעם חומרי הדברה כימיים חדשים כדי להשיג את אותה מידה של בקרה. עמידות מצויה כיום ביותר מ-500 מינים של חרקים וקרדיות מזיקים, ב-100 מינים של עשבים רעים ובערך ב-150 מינים פתוגנים של צמחים (WRI, 1994). שנית, אוכלוסיות של האויבים הטבעיים של מזיקים אלו נכחדות כתוצאה מהשימוש הכבד בחומרי הדברה. אויבים טבעיים בדרך כלל פגיעים יותר לרעלים סינתטיים מאשר מזיקים אחרים, מכיוון שאין להם עבר אבולוציוני שבמהלכו התגברו על חומרים כימיים מהצמחים – חומרים שהמזיקים כן התמודדו אתם. לטורפים הטבעיים יש בדרך כלל גם אוכלוסיות קטנות יותר מאוכלוסיות הטרף שלהם. הרס של אוכלוסיות טורפים מוביל לפיצוץ במספרי הטרף, וכך לא רק משחררים את המזיקים מהבקרה הטבעית שלהם, אלא פעמים רבות "מעלים" לדרגת מזיקים מינים שלא היו כאלו. בקליפורניה בשנות ה-70 של המאה ה-20, לדוגמה, 24 מתוך 25 המזיקים החשובים ביותר לחקלאות הועלו לדרגה זו על ידי שימוש יתר בחומרי הדברה (NRC, 1989). שלישית, חשיפה לחומרי הדברה נגד מזיקים ולקוטלי עשבים יכולה להציב סיכונים בריאותיים חמורים לאדם ולאורגניזמים רבים נוספים; הירידה, שהתגלתה לאחרונה, בספירות זרע



איור 13: ייחור ארוחה זו התאפשר הודות לשירותים רבים של המערכת האקולוגית, הכוללים הדברה טבעית של מזיקים, האבקה, שימור פוריות הקרקע, טיהור מים ומיתון האקלים.

שירות זה, האצטרובלים לא נפתחים דיים כדי לאפשר לזרעים ליפול מהם בכוחות עצמם. בעלי חיים המפיצים זרעים מהווים גורם מרכזי במבנה ובשיקום של יערות אורנים רבים (Lanner, 1996). הפרעה לשירותים מורכבים אלו יכולה להשאיר אזורי יער רבים ריקים מנבטים ומקבוצות צומח צעירות יותר, וללא אפשרות להתחדש במהירות לאחר השפעות של האדם, כגון: בירוא שטחים.

הצבאים והיעלים של הנגב מעורבים בהפצת זרעי השיטים, בעיקר באזורים שבהם חדלה רעיית המקנה (אשכנזי 1995). העורבני, ציפור שתפוצתה התרחבה ביותר בישראל בעשורים האחרונים (Shirihai, 1996), הוא מפיץ חשוב של זרעים גדולים ובעלי קליפה קשה, שאותם הוא מסתיר במטמונות בקרקע (Ehrlich et al., 1994). ייתכן שלהתרחבות תפוצתה של ציפור זו יש חלק בהתחדשות חורשי אלונים בישראל ובהתפשטותו של השקד התרבותי מאתרי הכפרים הערביים הנטושים אל תוך רבים מהשטחים הפתוחים.

יופי אסתטי והשראה אינטלקטואלית ורוחנית

לאנשים רבים יש הערכה עמוקה למערכות האקולוגיות הטבעיות. הערכה זו באה לידי ביטוי באמנות, בדתות ובמסורות של תרבויות שונות ובפעילויות דוגמת גינון וגידול חיות מחמד, צילום טבע, האכלת ציפורים וצפרות, טיולים בחיק הטבע, תיירות אקולוגית וטיפוס הרים, שיט נהרות, דיג וצייד ובמגוון רחב של פעילויות אחרות. עבור רבים הטבע הוא מקור שאין שני לו להתפעלות והשראה, לשלווה ויופי, להגשמה והתחדשות (e.g., Kellert and Wilson, 1993).

איומים על שירותי המערכות האקולוגיות

שירותי המערכות האקולוגיות נפגעים ונהרסים על ידי מגוון רחב של פעילויות האדם. הראשונה מבין הסכנות המיידיות היא המשך ההרס של בתי הגידול הטבעיים ופלישת מינים זרים המלווה פעמים רבות הפרעות אלו; במערכות ימיות דיג יתר הוא האיום המרכזי. מבין השפעות האדם, אובדן המגוון הביולוגי המקומי היא הפחות הפיכה מכולן. הערכה שמרנית של קצב אובדן המינים היא של מין אחד בשעה. קצב זה, למרבה הצער, עולה על קצב היווצרות המינים בשיעור של 10,000 או יותר (Wilson, 1989; Lawton and May).

1995). אבל הכחדה מוחלטת של מינים היא רק השלב האחרון בתהליך. קצב האיבוד של אוכלוסיות מינים מקומיות – האוכלוסיות היוצרות שירותים של המערכת האקולוגית באתרים ובאזורים מסוימים – מתרחש בסדרי גודל גבוהים יותר (Daily and Ehrlich, 1995; Hughes et al., in prep.). הרס של צורות חיים אחרות יוצר גם הפרעה למארג יחסי הגומלין, שיכול לסייע לנו לגלות את השימושים הפוטנציאליים של מיני צמחים ובעלי חיים מסוימים (Thompson, 1994). מרגע שמאביק או חרק טורף נמצאים על סף הכחדה, לדוגמה, יהיה קשה לגלות את שימושם הפוטנציאלי לחקלאים.

איומים משמעותיים נוספים הנשקפים לשירותי המערכות האקולוגיות כוללים שינוי מעגלי הפחמן, החנקן ומעגלים ביוגאוכימיים נוספים של כדור הארץ על ידי שריפת דלקים ושימוש כבד בדשנים חנקניים; הרס אדמות חקלאיות על ידי ממשק שאינו בר קיימא; בזוז מקורות מים מתוקים; הרעלת אדמות ונתיבי מים ועודף ניצול הדגה, היערות המנוהלים ומשאבים נוספים הניתנים להתחדשות באופן תאורטי.

איומים אלו על שירותי המערכת האקולוגית מונעים באופן בסיסי על ידי שני כוחות עיקריים. האחד הוא הגידול המהיר

של הדונם הבא של יער או של בית גידול לח? ההערכה של הערך השולי מורכבת (e.g., Bawa and Gadgil, 1997; Daily, 1997b). פעמים רבות, השוואה כמותית של הערכים היחסיים אינה מספקת – כלומר, מה גדול יותר: התועלות הכלכליות של פרויקט פיתוח מסוים או התועלות המסופקות על ידי מערכת אקולוגית שתיהרס, הנמדדות לאורך תקופת זמן המעניינת אנשים אשר דואגים לרווחת נכדיהם?

מאבקם של "ירוקי" ישראל בתכניות פיתוח שונות כמו, למשל, כביש חוצה ישראל הוא דוגמה לעובדה שהממדים של פרויקטים או המיקום שלהם נקבעים בדרך כלל לא על פי ערכם השולי של שירותי המערכת שייפגעו, אלא על פי תוצאות המאבקים להקטנת הפגיעה ב"ערכי טבע", כגון: אתרי נוף נקודתיים או מינים נדירים (שלאין, 2004). כביש חוצה ישראל, שאורכו המרבי אמור להיות 324 ק"מ (כמחצית מאורך זה כבר אושרה), יפקיע 32 קמ"ר לפחות משטח המדינה (בהערכה של 100 דונם על כל ק"מ כביש, למעט דרכי הרוחב; המשרד לאיכות הסביבה, 2004), שהם 0.6% מהשטח היבשתי של ישראל הלא-מדברית, שאינו כולל שטחים מבונים ושטחים מעובדים. השאלה בכמה תקטין ישראל את אספקתם של שירותי המערכת עקב הפחתה של אחוז אחד בקרוב מהשטח התורם שירותים אלה – לא נשאלה, וכמובן לא נשאלה השאלה בכמה יצטמצם שטף שירותי המערכת עם ההחרמה לטובת פרויקט הפיתוח העתידי של האחוז הבא מהשטח הנותר.

יש כיום, וישארו גם בעתיד, מקרים רבים בהם ערכם של שירותי המערכת האקולוגית לא ידוע. עם זאת, קצב ההרס של מערכות אקולוגיות טבעיות ואי-היכולת לתקן את מרבית ההרס הזה בטווח הזמן המעניין את האנושות מחייבים משנה זהירות. הערכת מערכת אקולוגית, בדומה להערכת חיי אדם, כרוכה בקשיים. כשם שחברות הכירו בזכויות האדם הבסיסיות, יש לשקול מיסוד הגנות בסיסיות למערכת האקולוגית, גם אם חוסר הוודאות לגבי הערך הכלכלי ייוותר בעינו. נדרשים מוסדות והסכמים חדשים ברמה הבין-לאומית והלאומית כדי לעודד השתתפות מייצגת בהגנות אלו (see, e.g., Heal, 1994).

ההוצאה האדירה והקושי להעתיק שירותי מערכת אקולוגית שאבדה מומחשים באופן הטוב ביותר על ידי התוצאות של ה"משימה" הראשונה של 'ביוספרה 2', שבה שמונה אנשים חיו בתוך 12.8 דונם של מערכת אקולוגית סגורה במשך שנתיים. המערכת כללה קרקע חקלאית והעתק של מספר מערכות אקולוגיות טבעיות. למרות השקעה של יותר מ-200 מיליון דולר בתכנון, בבנייה ובהפעלה של מודל זה של כדור הארץ, נמצא, כי בלתי אפשרי לספק את הצרכים החומריים והפיזיים של שמונת אנשי הביוספרה למשך השנתיים המתוכננות. התעוררו בעיות רבות, לא נעימות ולא צפויות, ובכללן נפילה בריכוז החמצן האטמוספרי ל-14 אחוזים (הריכוז הקיים בדרך כלל בגובה של 5,330 מטר), עליות חדות בריכוזי

והלא מקיים בהיקף הפיתוח האנושי: בגודל האוכלוסייה, בצריכה לנפש וגם בהשפעה הסביבתית שהטכנולוגיות והמוסדות יוצרים, כשהם מייצרים ומספקים את מוצרי הצריכה הללו (Ehrlich et al., 1977). הכוח השני הפועל ביסוד האיזונים הוא אי-ההתאמה, במקרים רבים, בין יוזמות כלכליות פרטניות, שנובעות מתוך ראייה לטווח הקצר, ובין רווחת החברה כולה לטווח הארוך. בהכללה, שירותי המערכות האקולוגיות מוערכים הרבה פחות משווים האמיתי ממספר טעמים: רבים מהם אינם נסחרים ואין להם ערך בשווקים; רבים מהם משרתים את הציבור ואינם מספקים תועלות לבעל קרקע מסוים; במקרים רבים, בעלי נכסים פרטיים אינם מרוויחים כספית משירותי המערכת האקולוגית המסופקים לחברה על ידי אדמתם; ולמעשה, סובסידיות כלכליות מעודדות פעמים רבות המרת אדמות אלו לטובת פעילויות אחרות בעלות ערך שוק. עקב כך, אנשים שפעילותם יוצרת הפרעות לשירותי המערכות האקולוגיות, אינם משלמים באופן ישיר את המחיר של אובדן השירותים. יתר על כן, במקרים רבים החברה אינה מפצה את בעלי הקרקע ואחרים אשר שומרים על שירותי המערכת האקולוגית על התועלות הכלכליות שהם מפסידים, כיוון שהיא מעודדת שימושים רווחיים אך הרסניים יותר של האדמות. לכן, יש צורך קריטי לנקוט אמצעי מדיניות אשר יתמודדו עם הכוחות המניעים הללו ויטמיעו את ערכם של שירותי המערכת האקולוגית במסגרות של קבלת החלטות.

החקלאות הימית במפרץ אילת היא דוגמה לניצול יתר של שירותי מערכת – בעוד שהבעלים של כלובי הדגים נהנים מהעובדה שמי הים מספקים להם שירותים של פרוק פסולת וטיהור מים, עודפי המזון וחומרי הפסולת הרבים שמקורם בהאכלת יתר של הדגים משנים את מאזן חומרי ההזנה במי הים. במקביל לגידול בכלובי הדגים, תועדו שינויים במבנה חברת האלמוגים ובקצב הרבייה שלהם ונצפתה תמותה של שוניות אלמוגים רבות. התיירות האקולוגית המבוססת על עושר שוניות האלמוגים נפגעת, ועקב כך עלולים להיגרם נזקים כלכליים נרחבים נוספים לעיר אילת (Atkinson et al., 2000).

תמחור שירותים של המערכות האקולוגיות

החברה האנושית תחלל מלהתקיים בהיעדר שירותים של המערכת האקולוגית. לכן, ערכם העצום לאנושות אינו מוטל בספק. עם זאת, כימות ערכם של שירותי המערכת האקולוגית במקומות מסוימים ומדידת שוויים אל מול שימושים אחרים מתחרים בקרקע מציבות אתגר לא פשוט. כאשר צריך ליצור חלופות בהקצאת הקרקע ובמשאבים נוספים לפעילויות מתחרות של האדם, ההחלטה דורשת לעתים הערכה של מה שידוע כערך השולי. בנוגע לשירותי המערכת האקולוגית, לדוגמה, השאלה שיש להציב היא: בכמה יגדל (או יצטמצם) שטף שירותי המערכת האקולוגית עם השימור (או ההרס)

קצרות הטווח של הפיתוח. עלויות אלו סמויות בדרך כלל ואינן נכללות בניהול החשבונות הכלכלי המסורתי, אך למרות זאת הן בדרך כלל אמיתיות ומוטלות על כלל החברה. באופן טרגי, מיקוד קצר ראות בהחלטות על שימושי הקרקע יוצר תהליכים שבהם עלויות פוטנציאליות גדולות יהיו מוטלות על כתפי הדורות הבאים. עובדה זו מצביעה על הצורך לנקוט קווי מדיניות ששיגו איזון בין קיום שירותי המערכת האקולוגית וקידום היעדים קצרי הטווח של הפיתוח הכלכלי.

דו תחמוצת הפחמן, ריכוזי תחמוצת חנקן גבוהים כל כך היכולים לפגוע במוח, קצב הכחדה גבוה במיוחד (19 מבין 25 מיני החולייתנים וכל המאביקים שהובאו למתקן נכחדו, מה שהבטיח גם את הכחדתם העתידית של מרבית מיני הצמחים), גידול יתר של מטפסים אגרסיביים ומרבדי אצות והתפוצצות אוכלוסייה של נמלים, תיקנים וחגבים. למרות המאמצים ההירואיים האישיים של אנשי הביוספרה הם לא הצליחו להפוך את המערכת לחיונית ומקיימת לבני אדם או למינים אחרים (Cohen and Tilman, 1996).

אי־וודאויות מרכזיות

- החברה האנושית תרוויח ללא ספק ממחקר נוסף בשאלות המדעיות הרחבות שלהלן באופן שנוכל להימנע מהפתעות בלתי נעימות, כגון אלו שתקפו את פרויקט 'ביוספרה 2', (Holdren, 1991; Cohen and Tilman, 1996; Daily, 1997b):
 - מהי ההשפעה היחסית של פעילויות האדם השונות על אספקת שירותי המערכת האקולוגית?
 - מהו הקשר בין מצב המערכת האקולוגית - כלומר, עד כמה היא ראשונית או עברה שינויים מהותיים - לכמות ולאיכות שירותי המערכת האקולוגית שהיא מספקת?
 - עד כמה שירותי המערכת האקולוגית תלויים במגוון הביולוגי בכל הרמות, מגנים, למינים ועד לנופים?
 - עד כמה שירותי המערכת האקולוגית השונים כבר לקויים וכיצד ליקויים אלו והסכנה לליקויים עתידיים מפוזרים על פני כדור הארץ?
 - עד כמה עצמאיים שירותי המערכת האקולוגית השונים? כיצד ניצול יתר או נזק לאחד מהם משפיע על תפקוד האחרים?
 - עד כמה ולאורך איזה טווח זמן אפשר לתקן או לשקם את שירותי המערכת האקולוגית?
 - באיזו מידה של יעילות ובאיזה קנה מידה של גודל יכולות הטכנולוגיות האנושיות הקיימות או הצפויות להחליף את שירותי המערכת האקולוגית? מה יהיו ההשפעות הנלוות של תחליפים אלו?
 - בהתחשב במצב הטכנולוגיה הקיימת ובמידת הפיתוח האנושי, מהו החלק היחסי של הקרקע והפיזור שלה במרחב שצריך להישאר בלתי מופרע באופן יחסי, ברמה המקומית, האזורית והעולמית כדי לקיים את אספקת שירותי המערכת האקולוגית ההכרחיים?

מסקנות

הכלכלה האנושית תלויה בשירותים הניתנים "חינם" על ידי מערכות אקולוגיות. שווים של שירותי המערכת האקולוגית המסופקים בשנה הוא טריליונים רבים של דולרים. פיתוח כלכלי, שהורס בתי גידול ופוגם בשירותים, יכול לאורך זמן לעלות לאנושות ביוקר רב, מעל ומעבר לתועלות הכלכליות

מקורות

- Daily, G.C., P.A. Matson, and P.M. Vitousek. 1997. Ecosystem services supplied by soil. Pages 113-132 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Daily, G.C. and P.R. Ehrlich. 1995. Population diversity and the biodiversity crisis. Pp. 41-51 in C. Perrings, K.G. Maler, C. Folke, C.S. Holling and B.O. Jansson (eds.), *Biodiversity Conservation: Problems and Policies*, Dordrecht, Kluwer Academic Press.
- DeBach, P. 1974. *Biological Control by Natural Enemies*. Cambridge University Press, London.
- Diamond, J. 1991. *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee*. Radius, London.
- Dobson, A. 1995. Biodiversity and human health. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 390-391.
- Dowling, H.F. 1977. *Fighting Infection*. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA.
- Ehrlich, P.R. and A.H. Ehrlich. 1981. *Extinction*. Ballantine, New York.
- Ehrlich, P.R., A.H. Ehrlich, and J.P. Holdren. 1977. *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. Freeman and Co., San Francisco.
- Ewel, K. 1997. Water quality improvement: evaluation of an ecosystem service. Pages 329-344 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Farnsworth, N.R., O. Akerele, A.S. Bingel, D.D. Soejarto, and Z.-G. Guo. 1985. Medicinal plants in therapy. *Bulletin of the World Health Organization* 63: 965-981.
- Felder, A. J. and D. M. Nickum. 1992. The 1991 economic impact of sport fishing in the United States. *American Sportfishing Association*, Alexandria, Virginia.
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). 1990. *Soilless Culture for Horticultural Crop Production*. Rome: FAO.
- Grifo, F. and J. Rosenthal, editors. 1997. *Biodiversity and Human Health*. Island Press, Washington, D.C.
- Adams, R. McC. 1981. *Heartland of Cities: Surveys of Ancient Settlement and Land Use on the Central Floodplain of the Euphrates*, Chicago: University of Chicago Press.
- Alexander, S., S. Schneider, and K. Lagerquist. 1997. Ecosystem services: Interaction of Climate and Life. Pages 71-92 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Allegre, C. and S. Schneider. 1994. The evolution of the earth. *Scientific American* 271: 44-51.
- Bawa, K. and M. Gadgil. 1997. Ecosystem services, subsistence economies and conservation of biodiversity. Pages 295-310 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Bormann, F., G. Likens, D. Fisher, and R. Pierce. 1968. Nutrient loss accelerated by clear-cutting of a forest ecosystem. *Science* 159: 882-884.
- Buchmann, S.L. and G.P. Nabhan. 1996. *The Forgotten Pollinators*. Island Press, Washington, D.C.
- Chanway, C. 1993. Biodiversity at risk: soil microflora. Pages 229-238 in M. A. Fenger, E. H. Miller, J. A. Johnson, and E. J. R. Williams, editors. *Our Living Legacy: Proceedings of a Symposium on Biological Diversity*. Royal British Columbia Museum, Victoria, Canada.
- Cohen, J.E. and D. Tilman. 1996. Biosphere 2 and biodiversity: The lessons so far. *Science* 274: 1150-1151.
- Colborn, T., D. Dumanoski, and J. P. Myers. 1996. *Our Stolen Future*. Dutton, New York.
- Daily, G.C. 1997a. Introduction: What are ecosystem services? Pages 1-10 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Daily, G.C. 1997b. Valuing and safeguarding Earth's life support systems. Pages 365-374 in G. Daily, editor. *Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.

John Wiley & Sons, Inc., New York.

- McCormick, K.D., M.A. Deyrup, E.S. Menges, S.R. Wallace, J. Meinwald, and T. Eisner. 1993. Relevance of chemistry to conservation of isolated populations: the case of volatile leaf components of *Dicerandra* mints. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 90: 7701-7705.
- Myers, N. 1983. *A Wealth of Wild Species*. Westview Press, Boulder, CO. Myers, N. 1997. The worlds forests and their ecosystem services. Pages 215-235 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Nabhan, G.P. and S.L. Buchmann. 1997. Pollination services: Biodiversity's direct link to world food stability. Pages 133-150 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- National Research Council (NRC). 1989. *Alternative Agriculture*. National Academy Press, Washington, D.C. National Research Council (NRC). 1992. *Managing Global Genetic Resources: The U.S. National Plant Germplasm System*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Naylor, R. and P. Ehrlich. The value of natural pest control services in agriculture. Pages 151-174 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Oldeman, L., V. van Engelen, and J. Pulles. 1990. "The extent of human-induced soil degradation, Annex 5" of L. R. Oldeman, R. T. A. Hakkeling, and W. G. Sombroek, *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note*, rev. 2d ed. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre.
- Overgaard-Nielsen, C. 1955. Studies on enchytraeidae 2: Field studies. *Natura Jutlandica* 4: 5-58.
- Peterson, C.H. and J. Lubchenco. 1997. On the value of marine ecosystem services to society. Pages 177-194 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, and R. Blair. 1995. "Environmental and economic costs of soil
- Hall, D.O., F. Rosillo-Calle, R.H. Williams, and J. Woods. 1993. Biomass for energy: supply prospects. Pages 593-651 in T. Johansson, H. Kelly, A. Reddy, and R. Williams, editors. *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*. Island Press, Washington, D.C.
- Heal, G. 1994. Formation of international environmental agreements. Pages 301-332 in C. Carraro, editor, *Trade, Innovation, Environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hillel, D. 1991. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. The Free Press, New York.
- Holdren, J. P. 1991. "Report of the planning meeting on ecological effects of human activities. National Research Council, 11-12 October, Irvine, California, mimeo. Holdren, J.P. and P.R. Ehrlich. 1974. Human population and the global environment. *American Scientist* 62: 282-292.
- Hughes, J.B., G.C. Daily, and P.R. Ehrlich. In prep. The importance, extent, and extinction rate of global population diversity.
- Ives, J. and B. Messerli. 1989. *The Himalayan Dilemma: Reconciling Development and Conservation*, London: Routledge.
- Jenny, H. 1980. *The Soil Resource*. Springer-Verlag, New York. Kaufman, L. and P. Dayton. 1997. Impacts of marine resource extraction on ecosystem services and sustainability. Pages 275-293 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Kellert, S.R. and E.O. Wilson, editors. 1993. *The Biophilia Hypothesis*. Island Press, Washington, D.C.
- Lanner, R.M. 1996. *Made for Eachother: A Symbiosis of Birds and Pines*. Oxford University Press, New York.
- Lawton, J. and R. May, editors. 1995. *Extinction Rates*. Oxford University Press, Oxford.
- Lee, K. 1985. *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. Academic Press, New York.
- Leung, A.Y. and S. Foster. 1996. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients Used in Food, Drugs, and Cosmetics*.

- Shiklomanov, I.A. 1993. World fresh water resources. Pp. 13-24 in P. Gleick, editor. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. Oxford University Press, New York.
- Shukla, J., C. Nobre, and P. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science*, 247: 1322-1325.
- Tilman, D. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning. Pages 93-112 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Thompson, J.N. 1994. *The Coevolutionary Process*. Chicago Univ. Press, Chicago. United Nations Food and Agriculture Organization (UNFAO). 1993. *Marine Fisheries and the Law of the Sea: A Decade of Change*. Fisheries Circular No. 853, Rome.
- United Nations Food and Agriculture Organization (UNFAO). 1994. *FAO Yearbook of Fishery Statistics*. Volume 17.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1993. *World Agriculture: Trends and Indicators, 1970-91*. Washington, DC: USDA.
- Vitousek, P., P. Ehrlich, A. Ehrlich, and P. Matson. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience* 36: 368-373.
- Vitousek, P., J. Aber, R. Howarth, G. Likens, P. Matson, D. Schindler, W. Schlesinger, and D. Tilman. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Issues in Ecology*, Volume 1, Spring 1997.
- Wilson, E.O. 1987. The little things that run the world: The importance and conservation of invertebrates. *Conservation Biology* 1: 344-346.
- Wilson, E.O. 1989. Threats to biodiversity. *Scientific American* Sept: 108-116.
- World Bank. 1991. *Agricultural Biotechnology: The Next Green Revolution?* World Bank Technical Paper no. 133. Washington, D.C.
- World Resources Institute (WRI). 1994. *World Resources: A Guide to the Global Environment*. Oxford University Press, Oxford.
- erosion and conservation benefits." *Science* 267: 1117-1123.
- Pimentel, D., L. McLaughlin, A. Zepp, B. Lakitan, T. Kraus, P. Kleinman, F. Vancini, W. Roach, E. Graap, W. Keeton, and G. Selig. 1989. Environmental and economic impacts of reducing U.S. agricultural pesticide use. *Handbook of Pest Management in Agriculture* 4: 223-278.
- Postel, S. and S. Carpenter. 1997. Freshwater ecosystem services. Pages 195-214 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Prescott-Allen, R. and C. Prescott-Allen. 1990. How many plants feed the world? *Conservation Biology* 4: 365-374.
- Principe, P.P. 1989. The economic significance of plants and their constituents as drugs. Pages 1-17 in H. Wagner, H. Hikino, and N.R. Farnsworth, editors. *Economic and Medicinal Plant Research*, Vol. 3, Academic Press, London.
- Reid, W.V., S.A. Laird, C.A. Meyer, R. Gamez, A. Sittenfeld, D. Janzen, M. Gollin, and C. Juma. 1996. Biodiversity prospecting. Pages 142-173 in M. Balick, E. Elisabetsky, and S. Laird, editors. *Medicinal Resources of the Tropical Forest: Biodiversity and Its Importance to Human Health*. Columbia Univ. Press, New York.
- Rouatt, J. and H. Katznelson. 1961. A study of bacteria on the root surface and in the rhizosphere soil of crop plants. *J. Applied Bacteriology* 24: 164-171.
- Sala, O.E. and J.M. Paruelo. 1997. Ecosystem services in grasslands. Pages 237-252 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.
- Salati, E. 1987. The forest and the hydrological cycle. Pages 273-294 in R. Dickinson, editor. *The Geophysiology of Amazonia*. John Wiley and Sons, New York.
- Schlesinger, W. 1991. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Academic Press, San Diego. Schneider, S. and P. Boston, editors. 1991. *Scientists on Gaia*. MIT Press, Boston.
- Schneider, S. and R. Londer. 1984. *The Coevolution of Climate and Life*. Sierra Club Books, San Francisco.

● Zohary, D. 1983. Wild genetic resources of crops in Israel. Israel Journal of Botany 32, 97-127.

● אשכנזי, ש. 1995. עצי השיטה בנגב ובערבה, עמ' 43. הקרן הקיימת לישראל, ירושלים.

● האגף לדיג וחקלאות המים 2004. אתר הבית. <http://www.mop-zafon.org.il/fish/index.html>

● הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה 2004. שנתון סטטיסטי לישראל, שנים 1996-2003. <http://194.90.153.197/reader/shnatonhnew.htm>

● שלאין, א. 2004. היבטי תכנון סביבתי בתכנון וסלילת כביש חוצה ישראל בקטע עירון שורק. http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/Articals/road_6_1.pdf

● שלמון, ב. 1999. ציד. הספרייה של המרכז לטכנולוגיה חינוכית. <http://lib.cef.ac.il/Pages/item.asp?item=682>

● תחנת מחקר נווה-יער 2004. אגף צמחים ארומטיים ורפואיים, מרכז המחקר החקלאי. <http://www.agri.gov.il/Depts/tavlinim.html>

על סדרת סוגיות באקולוגיה

סדרת סוגיות באקולוגיה נועדה לדווח, בשפה המובנת לכל, את ההסכמות של פנל מדענים על סוגיות רלבנטיות לסביבה. סוגיות באקולוגיה הופקה בתמיכת Pew Scholars in Conservation Biology grant ל-David Tilman ועל ידי ה-America. Ecological Society of-ה. כל הדו"חות עברו ביקורת עמיתים ואושרו על ידי צוות המערכת לפני פרסומם.

שירותי המערכת האקולוגית: סוגי תועלת המסופקים לחברות אנושיות על ידי מערכות אקולוגיות טבעיות

נכתב במקור על ידי: Gretchen C. Daily, Susan Alexander, Paul R. Ehrlich, Larry Goulder, Jane Lubchenco, Pamela A. Matson

ספרות מצוטטת ל"היבט הישראלי"

● Anikster, Y. and Noy-Meir, I. 1991. The wild-wheat field laboratory at Ammiad. Israel Journal of Botany 40, 351-362.

● Atkinson, M.J., Birk, Y. and Rosenthal, H. 2001. Evaluation of Pollution in the Gulf of Eilat: Report for the Ministries of Infrastructure, Environment and Agriculture. In: http://sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/Articals/caes_report_1.pdf.

● Dimmentman, Ch, H.J. Bromely and F.D. Por. 1992. Lake Hula. Reconstruction of the fauna and hydrobiology of a lost lake. Jerusalem: Israel Academy of Sciences and Humanities.

● Ehrlich, P.R., Dobkin, D.S. and Wheye, D. 1994. The Birdwatcher's Handbook. Oxford University Press, Oxford.

● Gabbay, S. (Ed.) 1997. Conservation and Sustainable Use of Biological Diversity in Israel. Report of the State of Israel on the Implementation of Article 6 of the Convention on Biological Diversity. In: <http://www.biodiv.org/doc/world/il/il-nr-01-en.pdf>.

● National Research Council 1999. Water for the Future: The West Bank and Gaza Strip, Israel and Jordan. Pp. 82-86. National Academy Press, Washington D.C.

● Sede Elishu 2004. BIO-BEE Biological Systems. In: <http://www.seliyahu.org.il/eBiobee.htm>

● Shirihai, H. Birds of Israel. 1996. Princeton University Press, Princeton.

● United Nations Convention to Combat Desertification 2000. First National Report of Israel on the Implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification, National Reports of the UN Convention to Combat Desertification, In: <http://www.unccd.int/cop/reports/otheraffected/otheraffected.php>.

● United Nations Convention to Combat Desertification 2002. National Report of Israel, Years 2000 and 2001, National Reports of the UN Convention to Combat Desertification, Committee for the Review of Implementation of the Convention (CRIC1), In: <http://www.unccd.int/cop/reports/otheraffected/otheraffected.php>.

- Dr. George M. Woodwell, Woods Hole Research Center, P.O. Box 296, Woods Hole, MA 02543

חלק נכבד מהמידע בדוח זה נלקח מ-

G. Daily, editor. 1997. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

על הכותבת המדעית

איבון בסקין היא כותבת מדעית שערכה את הדו"ח של פנל המדענים כדי שיובן גם על ידי קהל קוראים שאינם מדענים.

הוסיפו על ההיבט הישראלי:

פרופ' אוריאל ספריאל, המחלקה לאבולוציה, סיסטמטיקה ואקולוגיה, האוניברסיטה העברית ירושלים.

פרופ' מיכה אילן, המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב.

המערכת המדעית של סוגיות באקולוגיה

Dr. David Tilman, Editor-in-Chief, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108-6097. E-mail: tilman@lter.umn.edu

חברי המערכת

- Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706
- Dr. Deborah Jensen, The Nature Conservancy, 1815 North Lynn Street, Arlington, VA 22209
- Dr. Simon Levin, Department of Ecology & Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544-1003
- Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331-2914
- Dr. Judy L. Meyer, Institute of Ecology, The University of Georgia, Athens, GA 30602-2202
- Dr. Gordon Orians, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA 98195
- Dr. Lou Pitelka, Appalachian Environmental Laboratory, Gunter Hall, Frostburg, MD 21532
- Dr. William Schlesinger, Departments of Botany and Geology, Duke University, Durham, NC 27708-034

על המהדורה האמריקאית

החברת פורסמה במקור ע"י החברה האקולוגית האמריקאית (1997) בסדרת החוברות סוגיות באקולוגיה.

על המהדורה הישראלית:

המהדורה בעברית יצאה לאור על ידי קמפוס טבע באוניברסיטת תל-אביב (2005).

המהדורה היא תרגום של המהדורה האמריקאית בתוספת ההיבט הישראלי. הצילומים והאיורים זהים למקור האמריקאי.

על פנל המדענים

דו"ח זה מציג את ההסכמה שהתקבלה על ידי 11 מדענים העוסקים בהיבטים שונים של תחום זה. הדוח עבר ביקורת עמיתים ואושר על ידי המערכת של 'סוגיות באקולוגיה'. ההשתייכות של חברי פנל המדענים היא:

- Dr. Gretchen C. Daily, Panel Chair, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305
- Dr. Susan Alexander, Earth Systems Science and Policy, California State University, Monterey Bay, 100 Campus Center, Seaside, CA 93955
- Dr. Paul R. Ehrlich, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305
- Dr. Larry Goulder, Department of Economics, Stanford University, Stanford, CA 94305
- Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331
- Dr. Pamela A. Matson, Environmental Science Policy and Management, University of California, Berkeley, CA 94720
- Dr. Harold A. Mooney, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305
- Dr. Sandra Postel, Global Water Policy Project, 107 Larkspur Drive, Amherst, MA 01002
- Dr. Stephen H. Schneider, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305
- Dr. David Tilman, Department of Ecology, Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108-609

המערכת המדעית הישראלית

ד"ר יעל גבריאלי: קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב
פרופ' תמר דיין: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
פרופ' דויד זלץ: המחלקה לאקולוגיה מדברית ע"ש מרקו
ולואיז מיטרני, המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין,
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
פרופ' יוסי לוי: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
פרופ' עוזי מוטר: המחלקה לאבולוציה, סיסטמטיקה
ואקולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים

כדי לקבל עותקים נוספים של דו"ח זה יש לפנות:

קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב, רמת-אביב,

תל-אביב 69978

טל. 03-6405148, פקס. 03-6405253

או דוא"ל: teva@tauex.tau.ac.il

על סדרת סוגיות באקולוגיה

סדרת סוגיות באקולוגיה נועדה לדווח, בשפה המובנת לכל, את ההסכמות של פנל מדענים על סוגיות רלבנטיות לסביבה. סוגיות באקולוגיה הופקה בתמיכת Pew Scholars grant במסגרת תוכנית בביולוגיה של שמירת טבע ועל ידי ה- Ecological Society of America. כל הדוחות עברו ביקורת עמיתים ואושרו על ידי צוות המערכת לפני פרסומם.

סוגיות באקולוגיה היא פרסום רשמי של החברה האקולוגית האמריקאית, החברה הלאומית האמריקאית המקצועית המובילה של אקולוגים. החברה האקולוגית האמריקאית נוסדה ב-1915, והיא פועלת לקידום היישום האחראי של עקרונות אקולוגיים לפתרון בעיות סביבתיות.

למידע נוסף:

Ecological Society of America,
1707 H Street, NW, Suite 400, Washington, DC 20036
E-mail: esahq@esa.org, Tel: (202) 833-8773

