

פרק ב'

חשיבה אקולוגית

- הבנק העולמי ועוד | תיקון המארג הנפרם
- ליה אטינגר | אוריינות אקולוגית על רגל אחת
- ג'נט אברמוביץ | קביעת ערך ל"שירותי החינם" של הטבע
- ליה אטינגר | המגוון הביולוגי כערך
- ג'יין לובצ'נקו | לקראת המאה של הסביבה: חוזה חברתי חדש עבור המדע

מבוא

כפי שצויין לעיל, רעיון הקיימות הוא תוצר של חשיבה סביבתית, ועל אף שאיפתו (או יומרתו) לחבוק עולמות, ובמיוחד את העולמות החברתיים, הכלכליים והפוליטיים, שורשיו אכן נטועים עמוק בעולם הטבע, או במלים יותר "דיציפלינריות", בחשיבה אקולוגית – הנושא של פרק זה. חשיבה אקולוגית פירושה יותר מאשר תחום המחקר של אקולוגיה, שהיא סניף של חקר עולם החי (ביולוגיה) המתמקד בקהילות של אורגניזמים והיחסים ההדדיים ביניהם ובין סביבתם. חשיבה אקולוגית, בהקשר שלנו, היא חשיבה מערכתית, שמדגישה עד כמה אנו חלק ממערכת זו, של עולם החי הגדול, ויתירה מזו, עד כמה אנו חייבים לקחת בחשבון, בכל יתר תחומי החיים, את חוקי הטבע ואת המשך קיומו ושגשוגו של עולם זה שאנו חלק אינטגרלי ממנו.

הדגש הזה בא בניגוד לכמה אמונות או הנחות יסוד עמוקות הרווחות בתרבות שלנו, כי הרי הנטייה להראות או לטעון שחיינו שזורים חזק ועמוק בעולם הטבע מהווה חידוש גדול. כלומר, זהו חידוש גדול עבורינו, בני התרבות המערבית המתועשת המאפיינת את העולם המפותח (וגם את חלקו הפחות מפותח) של המאה העשרים והעשרים ואחת. בלי רומנטיקה מיותרת, קדמונינו מן הסתם ראו את הקשר ביניהם לבין הטבע כיותר ברור, ישיר ובוטל לעין. זה אולי נראה טוב (דרך אותה עדשה רומנטית, בה הטבע כולו טוב ומחבק), אך וודאי הקשר הישיר הזה נחוה לא מעט כדבר אכזרי וקשה. בצורות, רעב, שטפונות, קור, חום: אפילו אם מאמינים שבורא עולם, אבינו שבשמים, ולא אמא אדמה, הוא זה שמושך בחוטים וקובע כיצד "הטבע" ינהג, אזי אותו טבע הוא בכל זאת ההקשר הפיזי המיידי והדומיננטי, שבו עיקרי הריאליה של החיים נקבעים.

לעומת זאת, ניתן לטעון שהתפיסה העצמית שלנו – שניזונה בחלקה מהאמונה המקראית באדם כנזר הבריאה, שנברא בצלם אלוהים-נצחי, ובחלקה גם מהקידמה שהניבה המהפיכה המדעית והתעשייתית – רואה באדם ייצור על-טבעי, שדרך רוחו היוצרת יכול לגבור על כל גבול או מגבלה שהטבע לכאורה מציב. אחד המאפיינים של המודרנה, ושל ההומניזם כדרך חשיבה בולטת בה, הוא בהחלט הכוח של אמונה זו, שאנו ייצור כל-יכול, ונבדלים הבדל חד ואבסולוטי מיתר עולם הטבע והחי.

אמונה זו שואבת לא מעט מכוחה מראיות בשטח, קרי, הקידמה הטכנולוגית במאתיים השנים האחרונות. אנו מגרנו מחלות שפעם עשו שמות באוכלוסיות שלמות, הארכנו ועוד מאריכים את תוחלת החיים, אנו טסים מיבשת ליבשת, ואל החלל החיצון, מהנדסים את המבנה הפנימי של החיים כך שישיר את הצרכים שלנו, ובונים רשתות שמחברות בין בני אדם עלי אדמות באשר הם. אנו חיים בימינו חיים מרופדים היטב

בטכנולוגיות מתקדמות שמגינות עלינו, או יותר נכון – מעניקות לנו את האשלייה של הגנה מפני הגחמות של הטבע. יש לציין ששורות אלה נכתבות סמוך לאירועי הצונמי הגדול ביפן, שלא להזכיר את השטפונות הגדולים באוסטרליה, וכו' וכו' – הטבע עדיין יכול להראות לנו דבר או שניים. ככל הנראה אפילו שורה של אסונות טבע לא מצליחה לערער לרוב את האמונה בעליונות האדם, ואת האמונה בנבדלות שלו. הדבר גם לגבי מהפיכות מחשבתיות, כגון תורת האבולוציה על פי דארווין, שהראתה יותר מכל עד כמה אנו כן נמצאים ברצף אחד עם כל עולם החי, תובנה שרחוקה מלהיות מקובלת באופן נרחב.

אי לכך, זה לא פלא שהרבה מהחשיבה החברתית-פוליטית שלנו מתקיימת ללא כל קשר לעולם הטבע. הדרמה החשובה בעיני רבים היא הדרמה האנושית, בה העולם מסביבנו הוא תפאורה סטטית, אם אנו מתייחסים אליו בכלל. הדבר בולט במיוחד בתחום הכלכלה, בו מרכיבים חשובים כמו מקורם של משאבים וייעודן של פסולות ותפוקות אחרות של המערכת הם בפירוש בעולם הזה, הסביבה הטבעית, אך נחשבים לזניחים או כחיצוניים לגמרי מהמודל (ראו בפרק ז' להרחבת נקודה חשובה זו). נתק זה קיים גם בספירה החברתית, בה אלה שמבקשים לקחת את הטבע ברצינות נחשבים ל"מחבקי-עצים", שמעדיפים חרקים על פני בני אדם ובעיותיהם החשובות באמת. כמו כן, בספירה הפוליטית, הכנסת הטבע לשיח נחשבת למיסטיקה או גרוע מזה.

לכן חשיבה אקולוגית מערכתית, כמרכיב מהותי בדרך חשיבה חברתית כמו קיימות, היא אכן חידוש. חידוש זה מורגש במאמר הראשון, התרעה מרביעית שועי עולם, שאי אפשר לחשוך בהם שהם מיסטיקנים או מחבקי עצים, עד כמה חשוב להתחיל ולשנות את החשיבה הכלכלית והפוליטית שלנו, ולהכיר בבריאותן ושלמותן של מערכות אקולוגיות כגורם מרכזי בתכנון שלנו. המאמר כבר בן עשר, אבל עובדה מצערת היא שמבחינת חוסר הפנמה של המערכת הפוליטית את האמיתות בו, על אף רהיטותו, נחרצותו, ודחיפותו, הוא עדיין בגדר קול קורא במדבר.

אבל מהן התובנות העיקריות של האקולוגיה עבור שוחרי הקיימות? ד"ר ליה אטינגר מספקת לנו תשובה תמציתית במאמרה על אוריינות אקולוגית. היא מפגישה אותנו עם הביולוג גרט הרדין, שהופיע לעיל אצל דני רבינוביץ, ויכבד יותר בפרק הבא על נחלת הכלל (ראו שם), אבל כאן כאדם נותן הוא לנו כמה כללי ברזל, שלטענתו הם כללים בסיסיים של האקולוגיה. כללים כגון:

- לעולם איננו יכולים לעשות דבר אחד בלבד – כלומר, לכל דבר ישנן השלכות, ודברים לא קיימים או מתרחשים בריק.
- לכדור הארץ לא מצורף פח זבל – כלומר, אין מקום אחר להשליך דברים, הכל נשאר היכן שהוא, ומאחר ומערכות תומכות החיים הן לא ליניאריות, אלא מחזוריות, חייבים לסגור את המעגלים.

אחת ההשלכות של הקשר של הכל בכל, והחשיבות הכלכלית של מערכות אקולוגיות, היא השירותים הרבים והמגוונים שהטבע מספק לנו, חנים אין כסף. ג'נט אברמוביץ מתארת באריכות את כל הדברים שאנו מקבלים כמובנים מאלהם, שהם חיוניים להמשך קיום החיים האנושיים: האבקה של דבורים, האספקה, הסינון והויסות של מערכות המים, יצירתן, תחזוקתן וייצובן של קרקעות, מחזור נוטריאנטים, ועוד כהנה וכהנה תשומות לחיים היצרניים של בני אדם, שעד כה לא חושבו כגורמים בעלי ערך כלכלי. כעת, לעומת זאת, ישנם אמדנים של חוקרים הטוענים כי הערך של שירותים אלה נמדד בעשרות טריליוני דולרים, והוא עולה על התוצר העולמי השנתי.

נושא זה נמשך במאמר הבא, שוב של אטינגר, בו היא מסבירה יותר בפרוטרוט את החשיבות של מגוון המינים. אטינגר עושה שימוש בדימוי חזק במיוחד של האקולוג פול ארליך, ה"ממשיל את המצב הזה לנוסעים במטוס שמפרקים ברגים בחלקים שונים של המטוס תוך כדי טיסה". "ייתכן", היא אומרת, "שהבורג מחבר את המשענת למושב, אך ייתכן גם שפירוק הבורג יפגע בפעולת המנוע. כשם שקיימים הרבה ברגים במטוס, כך קיימים מינים רבים של יצורים חיים על פני כדור הארץ ואין לנו אפשרות לצפות מראש מה תהיינה ההשלכות של הכחדתם."

אטינגר מזכירה כאן גם את הצד הכלכלי, החשיבות החבויה של ריבוי המינים לכלכלת בני אדם, וההפסדים האדירים הצפויים בעקבות הכחדתם. עם זאת, היא מזכירה לנו גם את המגבלות של לראות את הכל דרך החור בגרוש. כלומר, ראוי לזכור בכל רגע ובכל רובד של מחשבת הקיימות מה שהיא גם מדגישה: הצד החיובי, הפלאי, מקור העונו היופי והמשמעות. אין תחום מתאים יותר מאשר מגוון המינים – מה רבו המעשים! אמנם יש המון איומים וסיכונים, אבל אל לנו לשקוע בשיח שכולו שוד ושבר.

אנו חותמים את הפרק עם עוד מאמר, בן יותר מעשור, שקריאתו נותרה רלבנטית כמו ביום כתיבתו. המאמר היה נאום כניסתה של פרופ' ג'יין לובצ'נקו לנשיאות של ה-AAAS, הארגון המוביל של מדעני הטבע, בארה"ב ובעולם, משנת 1998. היא פונה בעיקר לקולגות שלה, לקהילת המדענים, ומצהירה שבעולם משתנה, עם כל הסכנות והאיומים הרבים שרובצים לפתחנו, על אנשי המדע למלא תפקיד מיוחד וחשוב. המאמר מאורגן סביב ארבע שאלות: כיצד משתנה עולמנו? מהן ההשלכות של השינויים האלה עבור החברה? מהו תפקיד המדע בהתמודדות עם האתגרים שמעלה העולם המשתנה? וכיצד על המדענים להגיב לאתגרים אלו? התשובות שלה לשאלות הללו חשובות הן גם להדיוטות שביננו, ונותן רק להגיד שהלוואי עלינו עוד מדענים עם תעוזת הרוח, בהירות הראייה, ותעצומות הרצון בהן ניחנה פרופ' לובצ'נקו.

המאמר הראשון והאחרון מדגישים את החשיבות של מנהיגות ומנהיגים בעלי די תבונה ואומץ כדי לקום ולהרים את קולם, לעתים כנגד הרוחות החזקות הנושבות

בעולמם שלהם, ולומר שבניגוד לתחזיות ודרדורות, הטוענות שהכל דבש ושהקידמה מתקדמת ומקדמת אותנו - צריכים אנו לשנות כיוון ולהתחיל לחשוב מחדש אם ברצוננו להבטיח את קיומם ושגשוגם של הדורות שיבואו אחרינו.

תיקון המארג הנפרם

קריאה לפעולה – אפריל 2000

UNDP, UNEP, הבנק העולמי ומכון משאבי כדור הארץ

Repairing the Fraying Web: A Call to Action by UNDP, UNEP, World Bank, and WRI

ישנם זמנים בהם ההחלטה הקשה מכל היא ההחלטה להכיר במובן מאליו. מובן מאליו הוא כי הכלכלות הלאומיות של ארצות העולם מתבססות על סחורות ושירותים המופקים ממערכות אקולוגיות; ברור אף מעבר לכך כי החיים האנושיים כולם תלויים בשמירת כושרן של מערכות אקולוגיות לספק את שירותיהן המרובים. אך זה זמן רב מדי מתמקדות העדפות הפיתוח בארצות עניות ועשירות כאחד בכמה יכולים אנו עוד להפיק מהמערכות האקולוגיות, ואינן מתייחסות דיה להשלכות של פעולותינו על אותן המערכות. בדו"ח המצ"ב תוכנית הפיתוח של האו"ם (UNDP), תוכנית הסביבה של האו"ם (UNEP), הבנק העולמי, ומכון משאבי כדור הארץ (WRI), מאשררים את מחויבותם לקידום הבטחת הקיום וכושר הפעולה של מערכות אקולוגיות לראש סדר העדיפויות של מדיניות הפיתוח במאה ה-21.

בעוד תלותנו במערכות אקולוגיות היא ברורה, המשימה של הכללת שיקולי כושר ניצול המערכות האקולוגיות במדיניות הפיתוח אינה פשוטה כלל. היא דורשת הן מממשלות והן מהמגזר העסקי לחשוב מחדש על הנחותינו הבסיסיות לגבי מדידה ותכנון של צמיחה כלכלית. עוני דוחף רבים לסכן את המערכות האקולוגיות בהן תלוי קיומם, גם כאשר הם מודעים לכך שהם כורתים עצים או דגים דגה, למשל, מעבר לכושר ההתחדשות המערכתית. תאוות בצע או דחף יזמי, חוסר ידע או חוסר מודעות גם הם מובילים אנשים להתעלם מן המגבלות הטבעיות המקיימות מערכות אקולוגיות לאורך זמן. אך הבעיה הגדולה מכל היא שאנשים בכל השכבות, מחקלאים בשדות ועד מעצבי מדיניות בברירות העולם, אינם יכולים לנצל את הידע שבידם, או שחסר להם מידע בסיסי לגבי מצבן של מערכות אקולוגיות וחוסנן לטווח הארוך. דו"ח זה והניתוח הנסיוני של מערכות אקולוגיות גלובאליות עליו הוא מבוסס הם צעד ראשון למענה על בעיה זו.

בשיתוף הפעולה הייחודי הזה למען סדרת דוחות "משאבי העולם", ארבעת המוסדות הנ"ל נטלו על עצמם לעבוד בשיתוף אמיתי על מנת לפתח המלצות אשר יגנו על המערכות האקולוגיות של העולם. שיתוף פעולה זה משלב פרספקטיבות שונות ועשרות

שנות ניסיון מגוון בנושאי סביבה ופיתוח. אנו מונעים על ידי הצורך הדחוף למציאת פתרונות שיעשירו את האדם והמערכות האקולוגיות גם יחד.

ברגעים אלה, בכל הארצות, עשירות ועניות כאחד, אנשים חווים את שקיעתן של מערכות אקולוגיות בצורה זו או אחרת: במחסור במים בחבל פונג'אב שבהודו, בסחף קרקע בטובה שברוסיה, בתמותת דגה בחופי קרולינה הצפונית שבארה"ב, במפולות קרקע בצדי ההרים מבוראי היער בהונדורס או בשריפות יער ביערות הנפגמים של בורניאו וסומטרה באינדונזיה. העניים, שעל פי רוב תלויים ישירות במערכת האקולוגית לקיומם, הם הראשונים להיפגע מדלדולן של מערכות אקולוגיות.

במקביל, אנשים בכל רחבי העולם פועלים למציאת פתרונות: כך בתוכנית קהילתית לשימור היערות בדאהני שבהודו, בניהול משותף של שטחי אחר במונגוליה, ברפורמות חקלאיות במוצ'קוס שבקניה, בהרחקה של זני עצים זרים להגנה על משאבי מים בדרא"פ או בשיקום ביצות האברגליידס בארה"ב. ממשלות והמגזר הפרטי משקיעים מיליארדים בניסיונות לתקן פגיעות במערכות אקולוגיות או לפחות להלחם בהשלכות הפגיעה – אך דרושים עוד מיליארדים רבים לשיקום המערכות בקנה מידה עולמי.

כפי שמראות דוגמאות אלו ודוגמאות רבות נוספות בדו"ח, הבנתנו את פעילות המערכות האקולוגיות השתפרה רבות, אך למרות זאת קצב התפתחות הבנתנו אינו מתקרב לקצב פיתוח כושרנו לשנות את אותן מערכות. אם לא נשתמש בידע שצברנו כדי לפתח את המערכות האקולוגיות באופן מקיים (sustainable), אנו מסתכנים בגרימת נזק גדול עוד יותר למערכות הללו – דבר בעל השלכות חמורות ביותר לפיתוח כלכלי ורווחה אנושית. מכאן דחיפות הנושא: טעויות ברות-מניעה הנובעות מקוצר ראייה משפיעות על חיי מיליונים, לא רק כיום אלא גם לעתיד לבוא. אנו יכולים להמשיך לנצל את המערכות האקולוגיות באופן עיוור או ללמוד להשתמש בהן באופן מקיים.

אם נבחר להמשיך בדפוס השימוש הנוכחי שלנו נחזה בירידה כמעט וודאית בכושרן של המערכות האקולוגיות להעניק לנו משירותיהן הרבים: ממים נקיים, אקלים יציב, עצי בעירה וגידולי מזון ועד לעצי בנין ואזורים המשמרים מגוון מינים. אך ישנה חלופה בה נוכל לבחור. היא דורשת הבנה חדשה של תפקיד המערכות האקולוגיות, כך שנלמד להכיר בכושר קיומן כחינוי לכושר קיומנו. אימוצה של תפיסה מערכתית כזו מוביל להערכה מחודשת של החלטות שימוש בקרקע ובמשאבים, למשל במונחים של השפעת השימוש על יכולת המערכת האקולוגית לשמר חיים. אך לא רק מנקודת המבט של רווחה אנושית אלא גם של בריאותם וכושר התרבותם של צמחים, בעלי חיים ומערכות טבעיות. שימור כושר זה הופך לאבן היסוד בפיתוח אנושי ולאומי, לתקווה לביעור העוני, למפתח לשימור של מגוון מינים ולדרך לעתיד מקיים.

קשה כמובן לדעת מה יהיה באמת מקיים לאורך זמן בסביבה הפיזית או הפוליטית

העתידי. בשל כך הגישה המערכתית-האקולוגית מדגישה את החשיבות הן של מידע מדעי אמין והן של מדיניות ומוסדות אמינים. בצד המדעי גישה מערכתית-אקולוגית דורשת:

- הכרה במורכבות המערכת, כיבוד גבולותיה הטבעיים וניהולם באופן כוללני (הוליסטי) ולא סקטוריאלי.
- ניטור והערכה סדירים של מצב המערכות האקולוגיות ולימוד התהליכים הנמצאים בבסיס כושרם לקיים חיים כך שנוכל להבין את השלכות החלטותינו ולקבלן באופן מושכל.

בצד הפוליטי גישה מערכתית-אקולוגית דורשת:

- הדגמה כי ניתן לעשות רבות לשיפור ניהול המערכות על-ידי פיתוח מדיניות מושכלת ומוסדות יעילים להגשמתה.
- איסוף המידע המאפשר שיקול זהיר של היתרון היחסי של סחורות ושירותים אקולוגיים שונים ביחס להעדפות הסביבתיות, החברתיות, הפוליטיות והכלכליות השונות.
- שיתוף הציבור בניהול המערכות האקולוגיות, בייחוד קהילות מקומיות המושפעות באופן ישיר מדפוס השימוש במערכת.

מטרת גישה זו היא ליעל את השימוש בסחורות ובשירותים שמספקות המערכות האקולוגיות באופן המשמר או המגדיל את כושר ייצורן העתידי.

שלב חיוני בתהליך זה הוא ההכרה במצב המערכות האקולוגיות ובכושרן להמשיך לספק את הדרוש לנו. למרות זאת, הערכה גלובלית של מצב המערכות האקולוגיות טרם בוצעה. דו"ח זה הוא צעד לכיוון סגירתו של פער המידע הזה, בהציגו את הניתוח הניסיוני של מערכות אקולוגיות גלובליות, שנועד לשמש מסד להערכות מקיפות יותר בעתיד.

ניתוח זה הוא רב ערך כבר עכשיו שכן הוא משווה מידע שכבר קיים ברמה הגלובלית לגבי חמש קטגוריות של מערכות אקולוגיות: מערכות חקלאיות, אזורי חוף, יערות, גופי מים מתוקים ואזורי מרעה. המחקר משווה לא רק כמויות ואיכויות של תוצרים, אלא גם את בסיס הייצור הביולוגי, כולל מצב הקרקע והמים, מגוון המינים ושינוי יעוד הקרקע לאורך זמן. הניתוח גם אינו מסתכל רק על תוצרים בעלי שוק כמו מזון או עץ לבניה, אלא מעריך שורה ארוכה של שירותים אקולוגיים הדרושים לבני אדם אך אינם נסחרים בשווקים. התוצאה היא הערכה מקיפה, במסגרת המידע הקיים, אודות מצבן הנוכחי של חמש המערכות המרכזיות האלה.

זהו ניתוח שמראה בבירור את נקודות הכוח והחולשה של המידע הקיים. הוא מצביע

על החוסרים ועל הנדרש להשלמתם. חישה מרחוק ולוויינים, למשל, הוסיפו מידע רב על המצאי הכמותי של תוצרי מערכות, אך מידע מן השטח, למשל אודות איכויות מים, חסר היום עוד יותר מבעבר.

אף כי קיים מידע רב, הניתוח מראה כי אין מאמץ מאחד שיטתי. נעשה שימוש במידות שונות, אינדיקטורים שונים, ומידע מאזור מסוים פעמים רבות אינו תואם את זה של אזורים אחרים.

הארגונים השותפים לדו"ח מדווחים בוודאות שאתגר ניהול המערכות האקולוגיות והשלכות הכישלון יעשו תובעניים יותר במהלך המאה ה-21. בסיום אנו רואים כי הן המידע הדרוש והן הנכונות הפוליטית לעמידה באתגרים עדיין אינם מספקים. כדי לקיים שימוש מושכל במאה ה-21 יידרש שינוי רדיקלי בשימוש שאנו עושים במידע והניסיון שבידינו, וכן בהיקף המידע הזוכה להתייחסות בשיקולי הניהול.

מחקר מקיף בהרבה מזה הניסיוני שלנו אודות המערכות האקולוגיות הגלובאליות יידרש כדי לספק את המידע הנחוץ להנעת הערכות אזוריות מחודשות. בשנת 1998 הושקה יוזמה משותפת של גופים מדעיים ופוליטיים רבים לביצוע הערכת המילניום וגובש מבנה לביצוע ההערכה. לאחר בחינת המחקר הניסיוני הוחלט כי סקירה של העבר, ההווה והעתיד של המערכות האקולוגיות הגלובאליות הינה אפשרית וגם חיונית. תוך שיתוף פעולה בין גופים מקומיים, לאומיים ובינלאומיים הוחלט כי הערכת המילניום של המערכות האקולוגיות תפיק מידע חדש, תאחד ותרכז מידע קיים, תפתח כלים מתודולוגיים ותפעל להגברת ההבנה בציבור. ההערכה תאפשר לנתח ולפעול על בסיס מידע משופר ברמה המקומית, הלאומית והאזורית. ארבעת המוסדות שלנו מאוחדים בתמיכתם בהערכת המילניום.

בפתיחת המאה החדשה ביכולתנו לשנות את המערכות תומכות החיים של כוכבנו לטוב ולרע. כדי לשנותם לטובה עלינו להכיר בכך שרווחתם של בני אדם ומערכות אקולוגיות כרוכים יחדיו במארג מורכב וכי מארג זה הולך ונפרם. עלינו לפעול לתיקונו ובידינו הכלים לעשות זאת. האם יש זמן טוב יותר לנקיטת פעולה זו מאשר עכשיו?

Mark Malloch Brown, Administrator, United Nations Development Programme
Klaus Töpfer, Executive-Director, United Nations Environment Programme
James D. Wolfensohn, President, World Bank
Jonathan Lash, President, World Resources Institute

אוריינות אקולוגית על רגל אחת

ליה אטינגר

האקולוג האמריקאי גרט הרדין, היה אחד האנשים שהשפיעו מאוד על החשיבה הסביבתית ב-40 השנים האחרונות. ההמצאה של המונח ecolacy עבור ecological literacy (אוריינות אקולוגית) היא הברקה שלו. הרדין טען שאוריינות אקולוגית חייבת להיות ציר מרכזי של החינוך בימינו. עלינו ללמוד לבחון כל בעיה או שאלה בה אנו עוסקים דרך שלושה פילטרים – כל פילטר ושאלתו.

הפילטר הראשון הוא פילטר האוריינות: מהן המלים המתאימות לעיסוק בשאלה? זהו הבסיס: ללא מלים, מושגים, הקשרים, איננו מסוגלים לחשוב. אך בעולם מורכב אין בכך די. חייבים לבחון כל בעיה גם דרך הפילטר השני, עולם המספרים. מהם המספרים הרלוונטיים לסוגיות הנדונות? היכולת להתמצא בעולם המספרים, אוריינות מספרית (numeracy), היא הכרחית, שכן השכל הישר נוטה לעוות את הממדים של מערכות מורכבות למדדים של מידות האדם. אך מידות האדם אינן מספיקות עוד כדי לנווט בקצב השינויים הנוכחי של העולם. חובה היא לחפש את המדדים הרלוונטיים, לעקוב אחר המגמות ולא להתעלם מן העוצמה של תהליכים אקספוננציאליים. אך גם בשני הפילטרים הללו אין די, מוסיף הרדין, כי אסור לשכוח את הפילטר השלישי: האוריינות האקולוגית.

אקולוגיה מתארת את קשרי הגומלין, הזיקות המורכבות ותהליכי המשוב בין המערכות השונות. החוק הראשון של האקולוגיה לפי הרדין הוא: לעולם אינך יכול לעשות דבר אחד בלבד. ולכן השאלה של הפילטר של האוריינות האקולוגית היא: ומה הלאה? ומה אחר כך? מה יקרה בהמשך?

החוק הראשון של האקולוגיה לפי הרדין הוא: לעולם אינך יכול לעשות דבר אחד בלבד

הרדין מביא את הדוגמה הידועה הבאה: כאשר בנו את סכר אסואן במצרים, מטרם המקימים היתה לייצר יותר חשמל ולאגור יותר מים להשקיה, ואכן הם השיגו את מטרם. אך אין די בכך שמהנדס ידע את מלאכתו, הוא חייב גם להתבונן בעבודתו דרך הפילטר של האוריינות האקולוגית ולשאול: ומה יקרה בהמשך? מה יקרה לאחר שנשיג את המטרה שקבענו לעצמנו? מה הוא המחיר להצלחה? הסכר עוצר את הסחף הפורה והתוצאה: אוכלוסיית הסרדינים במערב הים התיכון קטנה ב-97%; השטח של הדלתא הפוריה של הנילוס הולך וקטן. עד לבניית הסכר הוסיפו השיטפונות אדמת סחף פוריה

לשדות לאורך הנילוס, אך כיום הסכר עוצר את השיטפונות והאיכרים העניים נאלצים לקנות דשנים, במידה וידם משגת. יתר על כן, ההשקיה ללא השיטפונות גורמת להמלחת השדות, העמק שהיה פורה ותמך בחקלאות במשך כ-5000 שנה הולך ומדלדל. זאת ועוד, דרך ההשקיה הנוכחית – השקיה לאורך כל ימות השנה – מעודדת ריבוי של שבלולים שהם נשאים של הפרזיט הגורם לבילהרציה, מחלה קשה הפוגעת בתושבי האזור. הלקח של סיפור זה נכון לא רק לגבי מבצעים הנדסיים מורכבים. הוא נכון לגבי כל פעילות אנושית. אך מכיוון שהחינוך בימינו אינו כולל בדרך כלל את הפילטר השלישי, הפילטר של האוריינות האקולוגית, שאלת "ומה אז?" כמעט ואינה נשאלת והתוצאה – אנשים אינם נוטים לקבל אחריות על התוצאות של מעשיהם.

צריך לסגור את המעגל

הדרך המקובלת בחברה בה אנו חיים, היא לייצר מוצרים, להשתמש בהם ולהשליכם לאחר השימוש. היצרנים אינם רואים עצמם כאחראים לתוצרי הלוואי של תהליכי היצור והמשתמשים אינם רואים עצמם אחראים על המוצר שקנו לאחר שכילו להשתמש בו. הרדין מזכיר לנו את העובדה המצערת שכדור הארץ הוא מערכת סגורה מבחינת החומר. החוק השני של האקולוגיה לפי הרדין הוא: לכדור הארץ לא מצורף פח זבל. אין לאן להשליך פסולת, או בלשונו המיוחדת של הרדין: *There is no away*. אם נשאל את עצמנו על פי התובנה האקולוגית "ומה אז?" נגלה שהדרך בה תכננו את העולם הטכנולוגי סותרת את ההגיון האקולוגי. בטבע אין פסולת. הפסולת של יצור אחד היא המזון של יצור אחר. החיים משתמשים שוב ושוב באותם החומרים הבסיסיים. אטום פחמן או חמצן שהיום בונה את גופכם יתכן שלפני כן היה חלק מגופו של אלכסנדר מוקדון, עכבר שדה, דינוזאור, תולעת, פרח או חיידק.

החוק השני של הרדין: לכדור הארץ לא מצורף פח זבל

מעגלי החיים סובבים – "כי עפר אתה ואל עפר תשוב" – יצורים מתים ונולדים, המערכת משתנה תדיר, אך כל הזמן שומרת על חיותה. לעומת זאת, אנו בנינו וממשיכים לבנות את רוב המערכות שלנו בצורה קווית: אנו שואבים משאבים מכדור הארץ, משתמשים בהם ומשליכים אותם לאחר השימוש. לא טרחנו לסגור את המעגל, כפי שנהוג בטבע, כך שהפסולת תוכל להפוך למשאב. התוצאה: חומרים מלאכותיים מעשה ידי אדם וחומרים בלתי פריקים מצטברים באופן שיטתי בקרקע, במים ובאוויר ומרעילים מערכות אקולוגיות. מעבר לכך, אנו משנים את מחזורי החומרים הטבעיים. לדוגמה: אנו פולטים פחמן בצורה

של פחמן דו חמצני – מעבר לקצב הקליטה של המערכות הטבעיות – והתוצאה היא התחממות כדור הארץ, שמובילה כבר כיום למקרי מוות רבים ולהידרדרות בתנאי החיים של מיליוני בני אדם. איננו מתאימים את הקצב ואת האופי של המערכות הכלכליות לקצב של המערכות האקולוגיות שהן מתפקדות בתוכן, ושבבעדיהן לא תוכלנה להתקיים.

נכון לא נכון

הרדין מדגיש מאד בחינוך לאוריינות האקולוגית את החשיבה הרציונלית. אני רוצה להוסיף לכך את החיבור הרגשי. הפילטר השלישי יהפוך חלק בלתי נפרד של החשיבה האנושית רק אם ילדים יחוו כבר מגיל צעיר את עצמם כחלק ממארג החיים, יכירו את המגוון שבטבע וישתאו מהיופי ומההוד שלו. בני אדם נוטים שלא להכיר במה שנראה להם כמובן מאליה. התנאים תומכי החיים של כדור הארץ הם עבורנו מובנים מאליהם. נולדנו על כוכב שהוא כגן פורח, בו האוויר לנשימה אינו נגמר והזרעים כל שנה נובטים מחדש, "כל הנחלים זורמים אל הים והים אינו מלא". עלינו ללמוד להתייחס לכך בפליאה ובתדהמה ולא באדישות המקובלת.

החיים עצמם הם שהפכו את כוכב הלכת שלנו לכוכב תומך חיים. חיים נוצרים מהחיים. לכל היצורים בכדור הארץ מוצא משותף. השרשרת הארוכה של היצורים החיים לא נותקה מאז ראשית החיים. במובן העמוק תחילתו של כל יצור חי אינה בבטן אמו אלא ב"מרק הקדמון" בו צמחו החיים לראשונה.

החיים עצמם הם שהפכו את כוכב הלכת שלנו לכוכב תומך חיים

החיים הם שיצרו במשך מיליארדי שנים את העולם המופלא בו אנו חיים כיום, והם שיוצרים את המערכות תומכות החיים של כדור הארץ כיום. רק אם נראה עצמנו כחלק בלתי נפרד מהמערכת המופלאה נוכל לשמור עליה. עלינו להבין שהבחירה אינה בין טובת חוחיות ודולפינים לטובת בני אדם, אלא בחירה בעולם עשיר ומגוון המאפשר חיים ראויים לבני האדם, לעומת עולם מדורדר שבו רבים מספור לא יוכלו להתקיים בכבוד. כדבריו של אלדו ליאופולד (שאפשר לכוונתו הסבא של התנועה הסביבתית בארצות הברית), עלינו לחנך את עצמנו להתנהג כחברים מן המניין בקהילה הביוטית (כלל היצורים החיים על פני כדור הארץ) ולא ככובשיה. "הפסק לחשוב על שימוש ראוי באדמה כעל בעיה כלכלית בלבד. בחן כל שאלה גם במונחים של מה נכון לעשות מבחינה מוסרית ואסתטית, כמו גם במונחים כלכליים. דבר מה הוא נכון כאשר הוא נוטה לשמור את השלמות, היציבות והיופי של הקהילה הביוטית, הוא שגוי כאשר הוא נוטה אחרת" (מתוך: תורת מוסר האדמה). ובפרפרזה על דברי הלל הזקן: חוכמה זו היא כל התורה (הסביבתית) על רגל אחת.

קביעת ערך ל"שירותי החינם" של הטבע

ג'נט נ. אברמוביץ

בניגוד להגיון הכלכלי המקובל – רוב הערך בכלכלת העולם מגיע לא מהפקת דברים מהטבע אלא מפעולתם הסדירה של שדות, יערות ונהרות בריאים.

במחצית השניה של שנת 1997 השתוללו שריפות ביערות של סומטרה, בורניאו וג'איה האיריאנית, אשר מהווים יחדיו רצועה של הארכיפלג האינדונזי ברוחבה של אירופה כולה. עד ל-2 בנובמבר נשרפו כ-20 מיליון דונם, אשר הותירו סביב האזור תכריך של אובך ואויר מסוכן לנשימה עבור למעלה מ-20 מיליון מתושביו. עשרות אלפי אנשים טופלו בשל בעיות בדרכי הנשימה. מאות מתו ממחלות, תאונות ורעב. השריפות, שבשלב זה יצאו מכלל שליטה, הוצתו במתכוון ובשיטתיות לא על ידי חקלאים קטנים או כתוצאה מאל-ניניו, אלא על ידי גופים מסחריים גדולים שפעלו בתמיכתה המרומזת של הממשלה. העלאה זו לקורבן של כמה מאוצרות הטבע המוערכים ביותר בעולם, ככל שתראה מוזרה, אינה ייחודית.

עבור ברוני המטעים ותעשיית העץ של אינדונזיה, כמו לחוואים ומגדלי הבקר של אמזוניה, הצתת שריפות לבירוא יערות הפכה לנוהל מקובל. עבורם, יערות הגשם הטבעיים מהווים מכשול שדינו להימכר או להישרף בכדי לפנות מקום למטעי הדקלים הרווחיים בשל שמנם ועיסת הנייר המיוצרת מהם. אך אלו הם אותם יערות שאחרים מוצאים בהם את ביתם ומקור מחייתם. עבור מאות מיליונים החיים באינדונזיה כמו גם בשכנותיה מלזיה, סינגפור, ברוניי, דרום תאילנד והפיליפינים, המציאות ההולכת ומחמירה מוכיחה כי ללא יערות בריאים קשה להישאר בני אדם בריאים.

לכשיתפוגג לבסוף העשן, דרום מזרח אסיה – ושאר העולם – יאמדו את עלויות הנזקים. ישנן עלויות של בריאות פגומה ואף של מוות, הן בשל מחלות ריאה והן בשל התאונות הרבות שגרמה הראות הלקויה. ישנו האובדן הגדול בייצור שנגרם עם השבתתם של מפעלים, בתי ספר, כבישים, נמלים ושדות תעופה (למעלה מ-1000 טיסות נכנסות ויוצאות בוטלו במלזיה בחודש ספטמבר בלבד). ישנה הירידה ביבולים שנגרמה כשהאובך הותיר את האזור כולו באור דמדומים משך כל היום וכן יבולי היערות עצמם שכמובן ירדו לטמיון. עצים לתעשייה (כמה מן הזנים המוערכים בעולם), וחיות בר (כמה מן הזנים הקרובים ביותר להכחדה), עודם מתאכלים בלהבות.

בעוד העשן מיתמר בדדמטיות מעל לדרום מזרח אסיה, אובדן אקולוגי, הרבה פחות

גלוי לעין אך לא פחות יקר בעלותו, התרחש במיקום מסוג אחר לגמרי. בעוד האובך האינדונזי מונצח במצלמות הלוויין, אובדן אחר זה ייתכן והיה נותר סמוי אף מן העומד בטווח אמה מן העדות לו – אך בהשלכותיו לגבי עתיד המין האנושי, הוא בן דוד של הקטסטרופה האסייטית. בארה"ב, למעלה מ-50% ממושבות דבורי הדבש נעלמו בחמישים השנים האחרונות, כשמחצית מן האובדן מתרחש בחמש השנים האחרונות בלבד. העלמויות דומות נצפו באירופה. שלושה-עשר מתוך תשעה-עשר הזנים של הדבורה הבומבוס (bumblebee) החיים בממלכה המאוחדת נכחדו. דבורים אלו מהוות רק שניים מן הזנים של יצורים מאבקים (pollinators), והתמעטות מספרם גורם לחוואים, מגדלי פירות וכוורנים מאות מיליוני דולר הפסד בכל שנה.

המשותף לערות הנחרבים באינדונזיה ולדבורים הנעלמות הוא שניהם מהווים "שירותי חינם" הניתנים על ידי הטבע ונצרכים על ידי הכלכלה האנושית – שירותים בעלי ערך כלכלי עצום, אשר איש לא טורח לחשבם או להכיר בערכם עד אשר אבדו. רבים משירותים אלו הם חיוניים לאנשים המנצלים אותם, אך לא מחשבים אותם כהטבה אמיתית או כחלק מהתל"ג.

שירותי ה"חינם" הניתנים על ידי הטבע, למרות שנתפסים כמובנים מאליהם, הם המצע הבלתי נראה עליו נבנות כל החברות והכלכלות. אנו סומכים על האוקיינוסים לאספקת שפע דגה, על יערות לעץ ותרופות חדשות, על חרקים ויצורים אחרים להאבקת הגידולים שלנו, על צפרדעים וציפורים להגבלת אוכלוסיית המזיקים ועל יערות ונהרות לאספקת מים נקיים. אנו מקבלים כמובן מאליו שכשדרוש לנו עץ לתעשייה נכרות עצים, או כשדרושים לנו מים נוכל למצוא מעיין או לקדוח באר. אנו מניחים כי אויר נקי ישא את הערפיח מעל לערינו, שמזג-האוויר יהיה יציב ובר-חיזוי ושכמויות האשפה הגדלות והולכות שאנו מייצרים ימשיכו להעלם אם רק נוציא אותן מטווח ראייתנו. שירותי הטבע תמיד היו שם, חופשיים לכל דורש וציפיותינו – וכלכלותינו – בנויות על ההנחה שכך הם גם תמיד יהיו. על תעשיין עצים או חוואי לשלם עבור האדמה, אך הם מניחים שהתהליכים המתרחשים באופן טבעי על פני אדמה זו – צמיחת עצים, האבקת גידולים על ידי דבורי בר, או סינון של מים טריים – קורים על פי רוב בחינם. אנו מתנהגים כמו ילדים קטנים החושבים שמזון מגיע מהמקרר, ואשר טרם הבינו שמה שכעת דומה שהוא בחינם למעשה אינו בחינם.

למרבה האירוניה, בהמעיסן בערכם של השירותים הטבעיים, כלכלות נותנות, שלא בחוכמה, תמריץ לניצול לרעה ולהרס של אותן מערכות המספקות את השירותים הללו; במקום להגן על נכסיהן הן בוזזות אותם. הטבע, בתמורה, מסוגל פחות ופחות לספק את מגוון השירותים המתרחב הנדרש על ידי האוכלוסייה והכלכלה, ההולכות וגדלות, של כדור הארץ. אין זו הגזמה לטעון כי השחיקה המתמשכת של מערכות טבעיות מסכנת לא רק את המשך קיומו של אורח החיים האנושי של ימינו, אלא בסופו של דבר את הסיכויים לעצם המשך קיומנו.

מעבר לזרם השירותים הקבוע שהטבע מספק לנו, הרי שמערכות אלו יחד מספקות שירות בסיסי אף יותר – מעין תהליך של בקרה עצמית שבו אקוסיסטמות והביוספירה כולה נשמרים יחסית יציבים, גמישים ועמידים. היכולת לעמוד בפני הפרעות כגון שריפות, הצפות, מחלות ובצורות והיכולת להשתקם לאחר השוק שמוותירים אירועים אלו, חיוניות הן לשמירת תפקודה התקין של המערכת תומכת החיים (life support system). כשמערכות הופכות פשוטות יותר עקב חקלאות המתבססת על זן אחד או נחתכות על ידי כבישים והרשתות המקשרות בין מערכות שונות נגדעות, הן הופכות יותר שבירות ופגיעות בפני שקיעה קטסטרופאלית ובלתי הפיכה.

לרוע המזל, הרבה מהכלכלה האנושית מבוסס על נוהגים ההופכים מערכות טבעיות למשהו פשוט יותר, לצורך הפשטת הניהול (קל בהרבה לאסוף יבולן של שורות עצים בני אותו גיל מאשר לאסוף בזהירות יבולים דומים מיערות מורכבים) או לצורך מקסום ייצורה של סחורה מבוקשת (כמו תירס). אך למערכות ממושטות חסרה הגמישות והעמידות בפני עקה קצרת טווח כמו התפרצויות של מחלות ומזיקים או שריפות יער, או אף לחצים ארוכי טווח יותר כמו אלו הנובעים מההתחממות הגלובלית. סיבה אחת היא שהתנאים במערכות פשוטות אלה אינם מסבירי פנים עבור האורגניזמים והמערכות הרבות מספור הדרושים לתפעולן של המערכות הללו. מטע עצים או חוות דגים עשויים לספק כמה מהמוצרים שאנו רוצים, אך אין ביכולתם לספק את מערך השירותים שמערכות טבעיות מגוונות מספקות וחייבות לספק – על מנת לשרוד במגוון מתחלף של תנאים. כדי להפוך את כלכלותינו לבנות קיימא, שומה עלינו להשתמש במערכות טבעיות באופנים המנצלים את הונן הטבעי ולא באופנים המכלים את כושר ההתחדשות (רגנרציה) שלהן. בכדי שבני אדם יהיו בריאים ובעלי כושר עמידה, גם הטבע חייב להיות כזה.

בנוסף למעבר למערכות פשוטות, כושר העמידה של מערכות נהרס גם על ידי קיטוע (פרגמנטציה). שריפות ביערות גשם בריאים הן מאורע נדיר ביותר. באופן טבעי הם רטובים מדי כדי לבעור. אך כאשר הם נקטעים על ידי כבישים, כריתה ויצירת כרי מרעה, הם הופכים יבשים יותר ונוטים יותר לשריפה.

תפקידה של יערות

ברחבי העולם, הבלליה, ההתפוררות והפישוט או "ההסבה" של אקוסיסטמות נמשכת במהירות. כיום, רק בין אחוז אחד לחמישה מהיער המקורי, שכיסה את אירופה וארה"ב, נותר. מאז 1960 אבד שליש מן היער המקורי של אסיה, וחצי מן הנותר מאז 1960. אותן תעשיות יער האחראיות לשריפות באינדונזיה. באמזונס, 13% מן הכסות הטבעית כבר בוראה, בעיקר עבור כרי מרעה. בארצות רבות, כולל כמה מהגדולות ביותר, למעלה

ממחצית מן האדמה הוסבה ממצבה הטבעי לשימושים אחרים גמישים ועמידים פחות. בארצות שכמעט ולא הוטרו, עד לשנות השמונים, חלקים נרחבים מהאקוסיסטמות הנותרות אבדו בעשור האחרון. כשאובדות האקוסיסטמות הטבעיות, רבים מהטובין והשירותים שהן מספקות יורדים לטמיון איתן.

דומה שהדבר עומד בסתירה להנחה שאנשים מעוניינים בטובין ושירותים אלה ולכן לא יפגעו בהם בכוונה. אך יש לכך הסבר הגיוני: תפישתן של ממשלות ועסקים היא שניתן להשיג את הרווח הגדול ביותר מאקוסיסטמה על ידי מיקסום כושרה לייצר מוצר בודד כמו למשל עץ מיער. עבור הקהילה (או החברה) בכללה זהו על פי רוב השימוש הכי פחות רווחי או בר-קיימא. ערכם הכלכלי של שימושים אחרים, ומספר האנשים המפיקים רווח בחישוב מצטבר, עשוי להיות עצום. יער שלא נכרת כדי לפנות מקום למטע של סחורה בודדת יכול לייצר מגוון עשיר של מוצרי יער שאינם עץ (מיש"ע), ובעת ובעונה אחת לספק הגנה חיונית לקו פרשת המים ולתרום לאיזון האקלים. שימושים אלה לא רק שיש בהם ערך כלכלי רב יותר בהשוואה, אלא שהם גם ברי קיימא לטווח ארוך ומביאים תועלת לאנשים רבים יותר.

ב-1992, אסטרטגיות ניהול חלופיות נסקרו עבור יערות הריזופורה של מפרץ בינטוני באינדונזיה. כאשר שימושים שאינם עץ כגון: דגה, מוצרים מקומיים ושליטה בסחף הוכנסו לשיבו, התברר לחוקרים כי האסטרטגיה הרווחית ביותר, מבחינה כלכלית, היא להותיר את היער על כנו עם כריתה מצומצמת בלבד עבור מוצרי עץ – עם תפוקה של 4,800 דולר לדונם. לו נוהל היער לתעשיית עץ בלבד, היתה תפוקתו 3,600 דולר לדונם בלבד. לטווח הארוך, חשוב כי שימור היער יבטיח המשך שימושים מקומיים לאזור בהיקף של 10 מיליון דולר לשנה (המספקים 70% מההכנסה המקומית) ויספק הגנה לשטחי דיג השווים 25 מיליון דולר לשנה, ערך שהיה אובד לו נכרת היער.

השפע והערך של מוצרים הנאספים ומיוצרים ביערות וחשיבותם לפרנסה האזורית כמו גם לכלכלות לאומיות, הפכו זה כבר למציאות כלכלית בכל רחבי העולם. לדוגמה, הרטן, סוג של דקל הגדל באופן טבעי ביערות טרופיים, משמש רבות בתעשיית הרהיטים. המסחר הגלובלי ברטן הינו בהיקף יצוא של 2.7 מיליארד דולר בשנה, ובאסיה הוא מספק תעסוקה לחצי מיליון נפשות. בתאילנד ערך הרטן המיוצא שווה ל-80% מכלל הסחר החוקי במוצרי עץ. בהודו, מוצרים "משניים" שכאלה מהווים שלושה רבעים מההכנסות נטו מייצוא של מוצרי יער ומספקים למעלה ממחצית מהתעסוקה הרשמית בסקטור הייעור. באינדונזיה מאות אלפי אנשים מוצאים פרנסתם באיסוף ועיבוד של מיש"ע לייצוא, סחר שהיקפו לפחות 25 מיליון דולר בשנה. רבים מיערות אלו חוסלו בשריפה. עם כל זאת, סחורות שאינן עץ הן רק חלק ממה שאובד כאשר יער מוסב לתעשייה של מוצר אחד. ישנו קשר בין שתי הקטסטרופות: השריפות באינדונזיה והירידה במספר

הדבורים באירופה ואמריקה, ככי הערות מהווים בית גידול לדבורים ומאבקים אחרים. הם מהווים בית גידול גם עבור ציפורים הניזונות ממזיקי חקלאות ומזיקים נושאי מחלות. צמרות העץ ביער שוברות את עוצמת הרוחות ובכך ממתנות את האימפקט של פגיעת הגשם באדמה, דבר המפחית את בליית הקרקע. שורשי העצים מקבעים קרקע למקומה ומקטינים עוד יותר את הבלייה. במונחים כספיים טהורים, יכולתו של יער להגן על אגני המים לבדה עשויה להיות שווה יותר ממוצרי העץ שלו. יערות משמשים גם ככלי אפקטיבי לשאיבת מים ולמחזורם ומסייעים בכך לייצוב מזג האוויר באזור. באמצעות פוטוסינתזה היערות מייצרים די מהחמצן של כדור הארץ, וקולטים ושומרים על חלק כה רב מהפחמן (בעצים וצמחים חיים), בכדי שיהיו חיוניים ליציבות מערכות מזג האוויר העולמיות.

מעבר לפונקציות כלליות אלו ישנם שירותים רבים שהם ספציפיים לסוג יער מסוים. יערות מנגרובים ואזורי חוף רדוד משמשים בתפקיד קריטי בקשר שבין ים ויבשה. הם מהווים חיץ המגן על חופים מפני סערות ובלייה, משמשים כחממות למידגה של ים ומספקים משאבים חיוניים לאוכלוסיות מקומיות. רק החלק של ההגנה משטפונות שמספקים המנגרובים שוויו הוערך ב-300,000 דולר לכל קילומטר של קו חוף במלזיה, מחיר הקמתם של קירות האבן שהיו נדרשים להחליפם. הגנה על החופים מסעירות תהפוך חשובה עוד יותר כששינוי האקלים הנובע מההתחממות הגלובלית, יהפוך את הסערות לקיצוניות ובלתי צפויות עוד יותר מהיום. כוח אחד המביא לחיסולם של המנגרובים בשני העשורים האחרונים, הוא הגידול האדיר בגידולים הימיים המסחריים האינטנסיביים, ביחוד לייצוא שרימפס. גורם נוסף הוא ההטיה המוגזמת של נהרות ונחלים ביבשה, דבר המקטין את הזרימה במורדות ומאפשר למי החופים להפוך מלוחים מדי מכדי לקיים את יערות החוף.

המים על כדור הארץ נעים במעגל בלתי פוסק, יורדים כמשקעים ונעים לאיטם לאורך תוואי האדמה בנחלים ונהרות ולבסוף אל הים, תוך שהם נספגים וממוחזרים בידי הצמחייה שבדרכם. עם זאת, מעשי האדם שינו אף את כוח הטבע הבסיסי ביותר הזה על ידי הסרת מעטה הצמחייה הטבעי, ייבוש ביצות ואזורי חופים, הפרדת נהרות מהמישורים אותם נהגו להציף וסלילת כבישים. התנועה האיטית של המים לאורך תוואי האדמה חיונית למילוי מחודש של המאגרים התת-קרקעיים, האקוויפרים, אשר באמצעותם אנו משיגים את מרבית צריכת המים שלנו. במקומות רבים כיום, המים אצים להם בתוואי האדמה בקצב מהיר ביותר, גורמים להצפות ובצורות, אך לא מצליחים למלא מחודש את האקוויפרים בקצב מספק.

ערכם של אגני נהר שופעי עצים נובע מיכולתם של העצים לספוג ולנקות מים, למחזר חומרים עודפים, לקבע קרקע למקומה ולמנוע הצפה. כאשר מוסר או מופר מעטה הצמחייה הטבעי, המים והרוח לא רק אצים להם בקצב מהיר בתוואי האדמה, אלא הם

גם סוחפים אתם אדמה רבת ערך. על פי דיוויד פימנטל, אקולוג חקלאי מאוניברסיטת קורנל, קרקע חשופה נשחקת בקצב המהיר פי כמה אלפים מאשר קרקע במצבה הטבעי. באופן טבעי שטח של עשרה דונם אדמה מאבד כ-0.04-0.05 טון של אדמה לשחיקה כל שנה, כמות הקטנה בהרבה מכמות האדמה הנוצרת בתהליכים הטבעיים. באדמות אשר עברו כריתה או הוסבו לגידולים ומרעה, לעומת זאת, שחיקה טיפוסית מסלקת כ-17 טון אדמה לשנה בארה"ב ובאירופה, וכ-30 עד 40 טון באסיה, דרום אמריקה ואפריקה. בקרקע בדרגת השחתה חמורה הנזק עשוי להגיע עד למאה טון לשנה. הקרקע הנשחקת לוקחת עמה חלקיקים, מינרלים וחומרים אורגניים שהם בעלי ערך למערכת אותה הם עוזבים, אך לעתים קרובות גורמים נזק במקום אליו הם נסחפים.

דרך אחת לחשב את ערכו הכלכלי של שירות שהינו כביכול חינם כמו של אגני נהר מיוערים, היא לחשב מה תהיה העלות לחברה אם תאלץ למצוא תחליף לשירות זה. לדוגמה, העיר ניו-יורק הסתמכה מאז ומתמיד על שירותי סינון המים של קו פרשת המים הכפרי באזור לטיהור המים המסופקים לעשרה מיליון איש מידי יום. בשנת 1996, העריכו מומחים כי הקמת מתקן מים שיספק את צורכי העיר לעתיד תעלה 7 מיליארד דולר. במקום זאת בחרה העיר באסטרטגיה אשר עלותה רק עשירית מסכום זה: סיוע למחוזות במעלה הנהר להגן על אגני הנהר סביב מאגרי מי השתייה שלה.

אך אפילו להערכה כזו יש נטייה להפחית במידה ניכרת בערך האמיתי, שכן היא מחשבת את עלויות ההחלפה של שירות אחד בלבד ממגוון השירותים המסופקים על ידי האקוסיסטמה. קו פרשת מים, למשל, תורם גם לייצוב מערכת האקלים המקומית. כשמסירים את מעטה היער של אזור כלשהו, עשוי הוא להפוך חם ויבש יותר, שכן מים מפסיקים את מחזורם ואינם ממוחזרים בידי הצמחייה (ההערכה היא שעץ יחיד ביערות הגשם שואב כעשרה מיליון ליטר מים מהאטמוספירה במהלך חייו). יוון העתיקה ואתיופיה של תחילת המאה, למשל, היו אזורים לחים יותר ומיוערים יותר לפני שכריתת היערות, העיבוד, ושחיקת האדמה שנבעה מהם הפכו אותן לארץ הסלעית והחמה שהן היום. ההתפשטות הגלובלית של המידבור מהווה עדות ברוטלית למחיר של אובדן שירותי האקוסיסטמה.

לאפקט המצטבר של השינויים המקומיים בשימושי האדמה ישנן השלכות גלובליות. אחד משירותי האקוסיסטמה הראשונים של כדור הארץ היה מיליארדי שנים של ייצור חמצן על ידי פעולת פוטוסינתזה, דבר שאיפשר ליצורים נושמי חמצן, כמונו, להתפתח. האדם החל להפר את האיזונים במערכת הסדרת האקלים הגלובלית על ידי ייצור כמויות עודפות של פחמן דו-חמצני והקטנת הכושר של אקוסיסטמות לספוג אותו. שריפת יערות ומרבצי כבול רק מחמירים את הבעיה. השריפות באסיה שיחררו אל האטמוספירה כמות פחמן בשנה שעברה בכמות דומה לזו שפלטו כל המפעלים, תחנות

הכוח וכלי הרכב בבריטניה יחדיו. בעבור צבירת פחמן בלבד כלכלנים מעריכים את ערכו של יער בכמה מאות אלפי דולרים לכל 10 דונם. עם השינוי באקלים, ערכה של היכולת לייצב מערכות מזג אוויר מקומיות וגלובליות רק ילך ויעלה.

תרומתן של הדבורים

גם אם אנו נוטים שלא להכיר בערכם של מוצרי החינם שאנו לוקחים מן הטבע, הרי שמאותם מוצרים שאין אנו קוצרים ישירות, אך כלכלותינו אינן מתפקדות בלעדיהם, קל עוד יותר להתעלם. אחד מהפחות בולטים מבין הנכסים האלו הוא היצורים הרבים מספור שמרסנים אורגניזמים העשויים להיות מסוכנים, בונים ומתחזקים קרקעות ומפרקים חומרים מתים כדי שישמשו לבנייה מחודשת של חיים, כמו גם אלו המאבקים גידולים. המגוון של מיקרו-אורגניזמים, תולעים, חרקים וציפורים, מדגים כי דברים קטנים עשויים להיות בעלי ערך גדול. למרבה הצער היצע שירותיהם הולך וקטן, שכן חומרי הדברה, מזהמים, מחלות, ציד וקטיעה או הכחדה של בתי גידול, הקטינו באופן דרסטי את מספרם ויכולתם לתפקד.

מאבקים, למשל, הם בעלי ערך עצום לחקלאות ולתפקודן הטבעי של אקוסיסטמות. בלעדיהם, צמחים לא יכולים להפיק את הזרעים המבטיחים את הישרדותם והישרדותנו. בניגוד לחיות, צמחים אינם יכולים לשוטט בחיפוש אחר בן זוג. להשגת רבייה מינית והבטחת ערבוב גנטי, צמחים פיתחו אסטרטגיות להעברת חומר גנטי מצמח אחד לשני, לעתים במרחקים גדולים מאוד. חלקם תלויים במים או ברוח לנשיאת אבקנים לנקבה הקולטת, חלקם מאבקים את עצמם. המפותחים ביותר הם אלו המשתמשים בפרחים, ריחות, שמנים, אבקנים וצוף כדי למשוך ולתגמל בעלי חיים לבצוע המשימה. העובדה היא שלמעלה מ-90% מרבע מיליון מיני הצמחים הפורחים, מאובקים על ידי בעלי חיים. כשבעל חיים אוסף את תגמולו מהצמח, הוא אוסף עמו גם אבקנים על חלקי גוף שונים, פרצוף, רגליים, חזה. עמוסים במשא צהוב, דביק, מראם הוא קומי במעופם באוויר אך התאמתם האבולוציונית היא יעילה באופן מעורר יראה.

פיתוח מערכת יחסים עם מאבק, מועילה לשני הצדדים, זו דרך אפקטיבית לצמח להבטיח הצלחה בפרייון, בייחוד כשפרטים מבודדים אחד מהשני. השקעת אנרגיה לייצור עסיס ואבקנים נוספים הוא מחיר קטן לשלם עבור הבטחת פרייון. האחראים לביצוע שירות התאמה זה הם בין 120,000 ל-200,000 מיני בעלי חיים, ביניהם דבורים, חיפושיות, פרפרים, עשים, נמלים חבובים, לצד למעלה מאלף מיני חולייתנים כגון ציפורים, עטלפים, אופוסומים ולמורים. ממצאים חדשים מראים כי מינים רבים יותר משחשבו בעבר של מאבקים אלו נמצאים בסכנת הכחדה.

80% מבין 1,330 מיני הגידולים המעובדים בעולם (הכוללים פירות, ירקות שעועיות וקטניות, קפה ותה, קקאו ותבלינים), מאובקים בידי מאבקי בר או מאבקי בר למחצה. שליש מהתפוקה החקלאית של ארה"ב מקורה בצמחים המאובקים בידי חרקים. בדולרים, שירותי ההאבקה של דבורי הדבש שווים כ-60 עד 100 פעמים יותר מהדבש אותו הן מייצרות. ערכם של דבורי האוכמניה הראית הוא כה גדול, כשכל דבורה מאבקת בין 15 ל-19 ליטר של אוכמניות בחייה, כך שהחקלאים מתייחסים אליהם כאל "שטרות מעופפים של 50 דולר".

ללא שירותי המאבקים, תנובת היבולים תקטן, וצמחי בר יפיקו פחות זרעים. לכך יש השלכות כלכליות ואקולוגיות מרחיקות לכת. האיומים החמורים ביותר העומדים בפני המאבקים כוללים: פרגמנטציה של בתי גידול והפרעה להם, אובדן של אזורי קינון ואזורי שהייה בחורף, חשיפה אינטנסיבית של מאבקים לחומרי הדברה ושל צמחי צוף לקוטלי עשבים, התמוטטות של "פרוזדורי צוף" המשמשים מקור מזון למאבקים בזמן נדידה, מחלות חדשות, התמודדות עם מינים אקזוטיים וצייד מופרז.

באופן אירוני הרגלי עבודה רבים בחקלאות מודרנית מגבילים למעשה את תנובת הגידולים על ידי הפחתת ההאבקה. על פי הערכה אחת, למשל, השימוש המוגבר בחומרי הדברה בכותנה מפחית את התנובה ב-20% לשנה (בשווי 400 מיליון דולר) בארה"ב בלבד על ידי חיסול דבורים וחרקים מאבקים אחרים. חמישית מכל אובדן דבורי הדבש קשור לחשיפה לחומרי הדברה והרעלת דבורי דבש ועולה מאות מיליוני דולרים בשנה. מאבקי בר פגיעים במיוחד להרעלות כימיות שכן לא ניתן להעביר את מושבותיהם לפני ריסוס כמו שנעשה עם כוורות תרבותיות. קוטלי עשבים עשויים להרוג את הצמחים בהם נוהגים מאבקים לקיים את עצמם "לא בעונה" כשהם אינם עוסקים בהאבקת גידולים. חרישת שדות עד לקצה כדי למקסם את שטח השתילה, עשויה דווקא להקטין את התנובה בשל ההפרעה לאתרי הקינון של מאבקים. 10 דונמים בלבד של אדמה לא חרושה, למשל, מקנה בתי גידול לקינון מספר דבורי אלקאלי פראיות שמספיק להאבקה של אלף דונמים של אלפלפא.

דבורי דבש מבויתות אינן מסוגלות למלא את החלל שנוצר עם אובדן של מאבקי בר. מבין הגידולים העיקריים בעולם רק 15% מאובקים בידי דבורים מבויתות, יותר מ-80% מקבלים שירות זה ממאבקי בר. דבורי דבש אינן "מתאימות" לכל פרח שדורש האבקה. ומכיוון שדבורי הדבש מבקרות במיני צמחים כה רבים, הן אינן מאבקות "יעילות" במיוחד – כלומר אין זה ודאי שהאבקה אכן תגיע אל בן זוג פוטנציאלי מאותו המין, ולא לצמח ממין אחר. מאבקים הנודדים למרחק רב, כגון עטלפים, פרפרי מלך ויונק-הדבש, זקוקים לנתיב המבטיח אספקה אמינה של צמחי צוף להשלמת מסעם. אך כיום פרוזדורי צוף שכאלה נמתחים עד לנקודת השבירה שלהם. כאשר היצורים במסע אינם יכולים לנוח ו"לתדלק" מידי יום, הם עשויים שלא לעמוד בתלאות המסע.

רבות מההפרעות שפגעו במאבקים פוגעות גם ביצורים המעניקים שירותים יקרי ערך אחרים כמו טיפול ביולוגי במזיקים ומחלות. חלק גדול מבתי הגידול הפראיים ופראיים למחצה, המיושבים בטורפים מועילים כגון ציפורים, כבר חוסל. שירותי "הדברת המזיקים" שמעניק הטבע לא ניתנים לחישוב ולא סובלים ממגרעות חומרי ההדברה הכימיים (המחסלים חרקים מועילים יחד עם אלו המזיקים וכן גורמים נזק לבני אדם). מושבות עטלפים מסוימות בטקסס יכולות לאכול 250 טון של חרקים כל אחת מידי לילה. ללא ציפורים עולה מספרם של חרקים אוכלי עלי, דבר המאט גידול עצים ופוגע בגידולים. הביולוגים פול ואן ארליך סבורים כי ללא הציפורים, החרקים היו בעלי השפעה כה רבה עד כי לא היו מתאפשרים לאדם התנאים להשגת המהפכה החקלאית שעליה נבנתה למעשה התרבות האנושית כולה.

אין השעה מאוחרת בכדי לספק הגנות חיוניות למספקי שירותים חיוניים שכאלה, על ידי שימוש בשיטות חקלאות המפחיתות את סחף אדמה ומעודדות את הכלכלה הנסתרת של הטבע, על ידי הפחתת השימוש בכימיקלים חקלאיים רעילים ועל ידי הגנה על נתיבי נדידה ופרוזדורי צוף, להבטחת הישרדותם של מאבקי בר ומחסלי מזיקים אחרים.

לשמירה על אזורי חיץ של עצים וצמחים טבעיים יש יתרונות רבים מספור. הם מהווים מקומות מבטח לאוכלוסייה המקומית והנודדת של יצורים מאבקים ומחסלי מזיקים. הם מצמצמים בליית רוח וסופחים מזהמים הדולפים משדות חקלאיים. אזורים אלה נחקרו משטחים חקלאיים רבים שעוברים מודרניזציה כדי להכיל ציוד חדש או שדות מוגדלים. ה"מטעים המקודשים" בכפרים באפריקה ודרום אסיה, שטחי טבע שנותרו במכוון ללא פיתוח, עדיין מהווים מקומות מבטחים שכאלה. היכן שאזורי חיץ אלו הוסרו, ניתן להשיבם לכנם, ניתן להוסיפם לא רק מסביב לשדות חקלאיים אלא גם לאורך כבישים מהירים, על גדות נהר, כקשרים בין פארקים ובגינות פרטיות.

אנשים יכולים לעודד מאבקים על ידי יצירת אתרי קינון כגון גזעים חלולים או על ידי שתילת צמחיה טבעית במקום בו המאבקים זקוקים לה "מחץ לעונה" כשאינם עובדים על הגידולים החקלאיים. גם שינוי של כמה מהמנהגים התרבותיים והתעשייתיים הרווחים כיום עשוי לעזור. לדוגמה, המנהג של נטיעת שורות סדורות של עצי קקאו. אלה אמנם מקנים מטע מראה נאה, אבל הזבובון, המאבק הידוע היחיד של קקאו תרבותי (המקור לשוקולד), מעדיף שפע של פסולת עלי ועצים בתצורה טבעית. מטעים שמעודדים זבובונים באופן זה תנובתם גדולה עד פי עשרה מאלה שאינם.

כלכלת השירותים האחרת

שירותי הטבע לא זכו להערכה הראויה, משום שבמשך זמן כה רב התייחסנו אל הטבע כאל מקור בלתי נדלה למשאבים וספק של מרחבים אינסופיים לקליטת פסולת. השפעת

האדם נתפסה כחסרת חשיבות בממדיה או כמועילה. הכלים שפותחו למדידת הבריאות הכלכלית וההתקדמות של אומות נטו לחזק את הנטיות הללו. התוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) למשל, מודד כביכול את נפח השירותים והסחורות רבי הערך ביותר. אבל אלו המסופקים על ידי הטבע – עליהם נבנים כל היתר – נמדדים בצורה בלתי מספקת או שאינם נמדדים כלל. דינמיקה לא בריאה זו נעשית מורכבת עוד יותר כיוון שפעולות המזמהות או מרוששות הן טבעי נמדדות כתורמות לרווחה הכלכלית.

כשחברות וכלכלות משתמשות בסמנים מוטעים לגבי ערכם של דברים, הדבר מעודד אנשים לקבל החלטות המנוגדות לאינטרס ארוך הטווח שלהם עצמם, ולאלו של החברה והדורות הבאים. חישובים כלכליים ממעיטים בצורה גסה בערכו הנוכחי ובערכו לעתיד של הטבע. בעוד כמות זעירה של סחורות הטבע נמדדת בהיכנסן לשוק – מרביתן אינן נמדדות. נוסף על כך, שירותי הטבע – מערכות תמיכת-החיים שלו – אינם נמדדים כלל. כאשר סחורה נתפסת כסחורת חינום שערכה הכספי הוא אפס, משדר השוק סימנים שכלכלית היא תקבל ערך רק עם הפיכתה למוצר אחר. לדוגמה, הרווח מבירוא יער על אדמה מסוימת נמדד כחיובי בהנהלת החשבונות הלאומית, שכן העצים עובדו למוצרי נייר ועץ הניתנים למכירה בכסף, בעוד שדילול אוצר העץ, ההגנה המסופקת על ידו לקו פרשת המים ולמי דגה, אינם נמדדים בצד השלילה.

בשנה שעברה, פרסם צוות מחקר בינלאומי, ברשות רוברט קוסטנזה, מהמכון לכלכלה אקולוגית באוניברסיטת מרילנד, מחקר פורץ דרך על חשיבותם של שירותי הטבע בתמיכה בכלכלות האנושיות. המחקר מעניק, לראשונה, הערכה כמותית לערך הכלכלי הנוכחי לשירותי האקוסיסטמה וההון הטבעי של העולם. החוקרים עשו סינתזה של הממצאים מלמעלה ממאה מחקרים כדי לחשב את הערך הממוצע להקטאר של כל אחד מ-17 השירותים המסופקים בידי האקוסיסטמות בעולם. מסקנתם היתה שהערך הנוכחי של שירותי האקוסיסטמות בעולם הוא בסביבות ה-33 טריליון דולר לשנה, למעלה מהתל"ג הגלובלי של 25 טריליון דולר.

יש המותחים ביקורת על מתן ערך כספי לטבע וטוענים כי אין למסחר את ערכו האינסופי. אך באופן מעשי כולנו מעניקים ערך כזה או אחר לטבע באמצעות הבחירות שאנו עושים. הבעיה שהיא שכרגיל אין אנו מקנים ערך כזה לטבע עד שאינו עובר עיבוד למוצר אנושי: יער – למוצרי עץ, או דגים – לארוחת דגים. עם ערך כספי של אפס, אין זה קשה לראות מדוע הטבע הוא כמעט תמיד המפסיד במשוואות כלכליות סטנדרטיות. כפי שמציינים כותבי המחקר של קוסטנזה: "...בבחירות שאנו עושים לגבי אקוסיסטמות חבויות הערכות (גם אם לאו דווקא בערכים כספיים) אנו יכולים לבחור אם לחשוף הערכות אלו או לא...אך כל עוד אנו נאלצים לבחור אנו נמצאים בהכרח בתהליך של

הערכה". המחקר מעלה גם אתגר חדש ורציני בפני הכלכלנים המסורתיים הרגילים לשמור שיקולי רווח והפסד סביבתיים כ"חיצוניים" לחישוביהם.

בעוד שישנם ספקנים שוודאי יטענו כי ההערכות הגלובליות של קוסטנזה ועמיתיו מפריזות בערך הנוכחי של שירותי הטבע, הרי שאם ישנה הפרזה היא לכיוון ההערכה השמרנית ביותר. כפי שמציינים הכותבים ערכם של כמה biomes (כגון הרים, טונדרה ארקטית, מדבריות ופארקים עירוניים) לא נכלל בחישוב. מעבר לכך ככל ששירותי האקוסיסטמה נעשים נדירים יותר כך ילך ערכם ויעלה.

כמובן שהכישלון להעריך את שירותי הטבע אינו הסיבה היחידה לניצולם לרעה. פעמים רבות שימוש לא הגיוני ולא צודק במשאבים נמשך, גם נוכח עדויות אקולוגיות כלכליות וחברתיות שהוא אינו בר קיימא, בשל העובדה שאינטרסים רבי עוצמה מסוגלים לעצב מדיניות באמצעים חוקיים ושאינם חוקיים. פעמים רבות קורה שיחיד או גוף כלשהו משיגים את הרווח הכספי מניצול של משאב מסוים, בעוד בהפסדים הנובעים מניצול זה מתחלקת החברה כולה. כלכלנים מתייחסים לכך כ"עלויות סוציאליות". באופן פשוט, אלו המרוויחים אינם אלו הסופגים את העלויות. כך אין תמריץ כלכלי למנצלי המשאב לעשות בו שימוש צודק או לנצלו באופן שימקסם את רווחת הכלל. במקום בו החוק אינו מוקפד או ממולא בקפדנות וישבו אין לאנשים הזדמנות להשתתף באופן משמעותי בקבלת החלטות, ניצול לרעה ימשיך להתרחש.

החיסול של למעלה מ-90% מהיערות בפיליפינים בשנות השבעים והשמונים, תחת שלטונו הרודני של פרדיננד מרקוס, לדוגמה, הפך כמה משפחות לעשירות יותר בכ-42 מיליארד דולר. אך 18 מיליון תושבים שוכני יערות נעשו עניים הרבה יותר. המדינה ככלל הפכה מיצואנית העץ השניה בגודלה בתבל ליבואנית נטו. באופן דומה, באינדונזיה כיום, ה"רווחים" משריפת יערות יעשירו מספר מצומצם של יחידים וחברות מרובי קשרים בעוד עשרות מיליונים אחרים יישאו בעלויות. אף במדינות עשירות, כגון קנדה, לתעשיית הייעור השפעה רבה על האופן בו מנוהלים היערות ולרווחתם של מי.

כבר הראנו כי האובדן של שירותי האקוסיסטמה עשוי לגרום להפסדים כלכליים, חברתיים ואקולוגיים כבדים, גם אם אנו מסוגלים למדוד רק שבריר שלהם. אובדן העץ והחיים בשריפות באינדונזיה, והתנובה המופחתת של פרי וירק עקב האבקה בלתי מספקת הם רק קצה הקרחון. ההשלכות האחרות לטבע הינם על פי רוב בלתי נראות ובלתי ניתנות לחיזוי. אובדנם של בתי גידול, הכחדת מינים והדילול ופישוט של אקוסיסטמות, פוגעים ביכולתו של הטבע לספק את השירותים להם אנו זקוקים. שינויים רבים מבין אלו הם בלתי הפיכים ומה שאובד על פי רוב אינו בר החלפה.

כשמקטינים אנו את מספר המינים ואת גודלן ושלמותן של האקוסיסטמות, אנו מפחיתים גם את כושרו של הטבע להתפתח וליצור חיים חדשים. קרוב למחצית היערות

שכיסו פעם את כדור הארץ כבר אינם קיימים, והרבה מן הנותר הוא בריססי שברים. תוך מאות ספורות עברנו מלחיות מרווחי הריבית בקרן החיסכון של הטבע לבזבזם של משאבים שנצברו במשך מיליוני שנות אבולוציה. בו בזמן אנו מפחיתים את יכולת הטבע לייצר הון חדש. האדם הוא רק חלק אחד מתוצר האבולוציה. אך עם זאת לקחנו על עצמנו תפקיד מכריע בעיצוב ייצורה העתידי, מסלולה והפוטנציאל שלה. אנו פורמים את חוטי רשת הבטחון של הטבע בעוד אנו תלויים בו לתמיכה בכלכלות האנושיות והאוכלוסיות המתפתחות של העולם.

בכלכלה המתפתחת הזו, על הצרכנים להכיר בכך שניתן להפחית את ההשפעה ההרסנית של פעילותינו על-ידי הפחתת הצריכה והצבת מספר דרישות מופחת על אותם השירותים שבאופן כה שגוי תפסנו אותם כשירותי חינם. אנו יכולים, למשל, להפחית את הרמות המוגזמות של ייצור אשפה ושל צריכת מוצרי עץ ונייר. אנו יכולים להגביר את יעילות השימוש במים ואנרגיה. בשדות חקלאיים אנו יכולים להותיר גדרות חיות ואזורים לא חרושים לשמש אתרי קינון והזנה למאבקים. אנו יכולים להביא להפחתה חדה בהשענות על כימיקלים חקלאיים ולשפר את תזמון השימוש בהם כדי להימנע מהרג מאבקים.

שימוש בשירותי הטבע דורש הסתכלות מעבר לצורכי הדור הנוכחי, במטרה להבטיח קיום בר-קיימא לדורות הבאים. אין ברירה אמיתית מלבד ההנחה שהדורות הבאים יזדקקו לפחות לאותה כמות של שירותי טבע שאנו נזקקים לה כיום. אין אנו יכולים, לא באופן מעשי ולא באופן מוסרי, להחליט עבור הדורות הבאים למה הם יזדקקו ועל מה יוכלו לוותר.

המגוון הביולוגי כערך

ליה אטינגר

מבוא

כמה מינים של יצורים חיים קיימים כיום בעולם? התשובה לשאלה זו איננה ידועה למרות שבמשך דורות רבים הקדישו חוקרים את חייהם לתיעוד ומיון סוגי בעלי החיים והצמחים ברחבי העולם. עד היום תוארו על ידי מדענים בין 1.5-1.8 מיליון מינים של יצורים חיים ושההערכות לגבי מספר המינים הקיימים נעות בין 3.6 ל-100 מיליון. ההבדל של קרוב לשני סדרי גודל בין שתי ההערכות האלה מלמד על הבורות העצומה של המין האנושי ביחס למגוון הביולוגי. אנו חיים בעיצומו של עידן הכחדת מינים, רובו מעשה ידי האדם. אם תימשכנה המגמות הנוכחיות צפויים כמחצית המינים החיים כיום להיכחד עד סוף המאה. רוב המינים הנכחדים אינם מוכרים ולכן איננו יודעים איך תשפיע הכחדתם. האקולוג הנודע פול ארליך ממשיך את המצב הזה לנוסעים במטוס שמפרקים ברגים בחלקים שונים של המטוס תוך כדי טיסה. ייתכן שהבורג מחבר את המשענת למושב, אך ייתכן גם שפירוק הבורג יפגע בפעולת המנוע. כשם שקיימים הרבה ברגים במטוס, כך קיימים מינים רבים של יצורים חיים על פני כדור הארץ ואין לנו אפשרות לצפות מראש מה תהייה ההשלכות של הכחדתם. מה שאנחנו כן יודעים הוא שאנו מכחישים חלקים מהמערכות תומכות החיים בכדור הארץ, שכן החיים עצמם הם שיוצרים את התנאים תומכי החיים של כוכב הלכת שלנו.

להלן דוגמה אחת המדגימה משל זה. האטמוספירה של כדור הארץ מורכבת מתערובת לא מאוזנת של גזים, אטמוספירה עשירה בחמצן ודלה בפחמן דו-חמצני. הרכב מיוחד זה נוצר ונשמר על ידי קיומו של מארג היצורים החיים. לקיום המין האנושי (ולמינים רבים נוספים) חיונית אטמוספירה עשירה בחמצן שבה ריכוז מתאים של פחמן דו-חמצני החיוני אף הוא לחיים. תופעת התחממות כדור הארץ שעליה קוראים לעתים קרובות בעיתונים, מוכיחה עד כמה מושפע האקלים של כדור הארץ משינויים בריכוז הפחמן הדו-חמצני. למארג החיים יש תפקיד מרכזי בוויסות ריכוז הפחמן הדו-חמצני וריכוז זה משפיע במידה רבה גם על הטמפרטורה ועל דגם המשקעים באזורים השונים של כדור הארץ. ברור שכמות המשקעים ומנעד הטמפרטורות הם גורמים מרכזיים בקיומן ובריאותן של מערכות אקולוגיות.

המושג 'מארג היצורים החיים' מבטא את החשיבות של יחסי הגומלין בין יצורים חיים על פני כדור הארץ. אפשר לחשב את חלקו של עץ יחיד בוויסות הגזים של האטמוספירה: כמה חמצן הוא מייצר במהלך חייו וכמה פחמן דו-חמצני הוא קולט מהאטמוספירה. אלא שעץ זה אינו פועל לבדו. הוא חלק ממערכת אקולוגית ובתור שכזה הוא משפיע ומושפע מהמארג הכולל של היצורים החיים בסביבתו. יש אינספור סוגים של יחסי גומלין בין היצורים השונים. קשה להעריך כיצד המינים הרבים משפיעים על עץ כלשהו, אך ללא ספק השפעתם רבה. למשל, יש מינים המרסנים מינים אחרים שיכולים לגרום לנזק. יש מינים המשפיעים על פוריות האדמה. עצים אחרים יכולים לחסום חלק מאור השמש שמגיע אל העץ וכן הלאה. הבנת מערכות החיים מחייבת ראייה מערכתית. הכחדתו של מין אחד במערכת אקולוגית יכולה להיות בעלת השפעה שולית או השפעה מרחיקת לכת על מארג החיים בסביבה אקולוגית נתונה – בלתי אפשרי לצפות מראש את התוצאה.

כאמור, רוב המינים החיים על פני כדור הארץ אינם מוכרים ואוסף המינים הידועים, יותר משהוא משקף את המגוון הקיים בטבע, משקף את התעניינותם הסלקטיבית של החוקרים ואת מקומות מגוריהם. כך למשל, בעוד שכשני שליש ממגוון כל המינים מרוכז באזור הטרופי, רק כשליש מהמינים המוכרים שייכים לאזור זה. כמו כן, כיוון שחוקרים רבים מתעניינים ביונקים וביציפורים, יש ידע מדעי רב בנושא זה, למרות שאלו מונים רק חלק זעיר מהמגוון הביולוגי. אמנם במשך הזמן עוד מתגלים מינים חדשים של יונקים וציפורים, אך מספרם קטן וככל הנראה הרוב המכריע של מיני הציפורים והיונקים כבר מוכר למדע. במארג החיים יש הרבה יותר יצורים קטנים מגדולים, ואנחנו מכירים רק חלק זעיר מהם.

אם רוב המינים אינם מוכרים, כיצד ניתן להעריך כמה מינים מאכלסים את כדור הארץ?

הדרך בה נוקטים החוקרים היא דרך של אקסטרפולציה. למשל, דוגמים את כל המינים באזור מסוים, בודקים מה היחס בין המינים המוכרים לבלתי מוכרים ומסיקים מכך לגבי מספר המינים באותו אזור. בדרך זו הגיעו בשנות הששים והשבעים של המאה ה-20 להערכות שונות שנעו בין 3 ל-10 מיליון מינים. אך בשנת 1982 חל מהפך. חוקר בשם טרי ארווין (Terry Erwin) פרסם ממצאי מחקר שערך ביערות הגשם בפנמה. הוא המית באמצעות קוטל חרקים את כל החרקים שרחשו בצמרתו של עץ יחיד, אסף את כל החרקים שנפלו על ידיעות הפלסטיק בתחתית העץ ומיין אותם. כך נתגלו למעלה מאלף חמש מאות מינים שכ-80% מהם היו חדשים למדע. כאשר חזר על הפעילות בעצים נוספים, הוא גילה שלכל עץ אוכלוסיית חרקים הייחודית לו ולמרבית ההפתעה גם אז היה הרוב המכריע של המינים חדש למדע. ארווין הגיע למסקנה שקיימים לפחות 30 מיליון מיני חרקים, רובם בצמרות העצים של היערות הטרופיים. מחקר זה עורר עניין רב ובעקבותיו נעשו ניסיונות לא מעטים להעריך מחדש את מספר המינים על פני כדור הארץ.

כיום ברור שקיימים אזורים על פני כדור הארץ בעלי מגוון מינים עשיר במיוחד. מקומות אלו מכונים hotspots. בפארק לאומי אחד בפרו חיים יותר מינים של ציפורים מאשר בכל ארה"ב וקנדה. בעץ יחיד במרכז אמריקה מצאו החוקרים יותר מינים של נמלים מאשר בכל רחבי בריטניה. ביער אחד במדינת גינאה שבמערב אפריקה, חיים כמחצית מיני היונקים המצויים ביבשת כולה. החוקרים איתרו עשרים וחמישה מקומות בעלי מגוון עשיר כזה ברחבי העולם. יוצא אפוא שכ-60% מהמגוון הביולוגי מרוכז בשטח של 1.4% בלבד מכדור הארץ. אי לכך נעשים כיום מאמצים מיוחדים לשמר את האזורים הללו. פרטים על כך אפשר למצוא באתר האינטרנט <http://www.conservation.org/xp/CIWEB/home>

מדוע חשוב לשמור על המגוון הביולוגי?

ישנן תשובות רבות לשאלה זו. מקצתן מתחום הפילוסופיה והדת, תשובות העוסקות בשאלת מקומו של האדם בעולם; מקצתן מתחום הכלכלה, תשובות המנסות להעריך את הערך הכלכלי של המגוון הביולוגי; מקצתן מתחום האקולוגיה והן מנסות להבהיר מהי החשיבות האקולוגית של המגוון; מקצתן מהתחום הרוחני-האסתטי ומנסות להסביר את חשיבות המגוון הביולוגי בהנאה הרוחנית וההשראה שאנשים רבים חשים בחיק הטבע. כיום בולטת נטייה חזקה להצדקת שימור המגוון הביולוגי מטעמים כלכליים. עיקר ההתייחסות היא אל המגוון הגנטי. על פי גישה זו רואים בכלל היצורים החיים מאגר גנטי עצום. צמחים ובעלי חיים מכילים גנים שיכולים להועיל לאדם. כיום, בעידן ההנדסה הגנטית, יש אפשרות להתערב בגנום של יצורים חיים, לשנות תכונות של צמחים ובעלי חיים המשמשים את האדם בחקלאות, בתעשייה וברפואה. ראוי לציין שתרופות רבות ברפואה המודרנית מקורן ביצורים חיים, בעיקר מצמחים ומיקרואורגניזמים. הפניצילין שהציל חיים של כל כך הרבה בני אדם, מקורו בפטרייה. תרופות חדשות נגד סרטן, כגון וינקריסטין ווינבלסטין הופקו מצמח הגדל באי מדגסקר. אין ספק שאנחנו מודעים רק לחלק זעיר מאפשרויות הריפוי הגלומות בקיומו של המגוון הביולוגי ואיננו מודעים לפוטנציאל הטמון במינים הנכחדים. סביר להניח שמסתתרים בתוכם גנים המקודדים לחלבונים בעלי פעילות ביולוגית שיכולה להועיל לאדם.

בחקלאות יש חשיבות מיוחדת למגוון הגנטי כאשר מדובר באספקת מזון סדירה לכלל האנושות. כשבעה מינים של צמחים מספקים כיום כ-80% מהמזון הצמחי של בני האדם. תירס, חיטה ואורז לבדם הם יותר ממחצית מכלל התנובה החקלאית העולמית המשמשת כמזון לאנושות. ההשענות על מינים ספורים כל כך טומנת בחובה סכנה, במיוחד עקב הנוהג החקלאי לזרוע שדות שלמים בזן אחד ויחיד (מונוקולטורה). צורת

חקלאות זו חשופה במיוחד למזיקים. ולכן ההכלאה של מינים זני בר מהטבע עם המינים הקיימים היא חיונית כרשת ביטחון לאספקת מזון סדירה. במשך ההיסטוריה האנושית, ידוע על כ- 7,000 מיני צמחים ששימשו לגידולים חקלאיים ומגוון הזנים ששימשו לחקלאות היה גדול במיוחד. בגידולי אורז מסורתיים בהודו, למשל, השתמשו בקרוב לשלושים אלף זנים שונים. למגוון כזה יש משמעות מרחיקת לכת לשמירה על ביטחון אספקת המזון העולמית. מקרים בעבר הוכיחו שגידול המבוסס על מאגר גנטי מצומצם הוא פגיע במיוחד. כך הצליח המזיק פילוקסרה לחסל את מרבית הגפנים באירופה בתוך זמן קצר ורק העובדה שהמגוון הגנטי שעמד לרשות החוקרים היה עדיין רחב מספיק כדי למצוא זן עמיד מארה"ב, אפשרה הרכבה של הגפנים על שתילי הזן העמיד וכך ניצלה תעשיית היין. במצב שלנו כיום, אנו צורכים מספר זעום של גידולים חקלאיים עבור רוב סוגי המזון שלנו, כל גידול מתבסס על מאגר גנטי הומוגני של זרעים, המסופקים על ידי מספר מצומצם של חברות ענק ששולטות בשוק הזרעים העולמי. מזיק אחד, אם יפגע באחד מגידולי הבסיס, בחיטה או באורז, עשוי להפיל את אספקת המזון הבסיסית. זו איננה אפשרות תאורטית גרידא. מגוון ביולוגי מאפשר גם התמודדות עם תנאי סביבה משתנים, עם התחממות כדור הארץ למשל, תהליך המתרחש כיום בקצב מואץ. כיצד נתמודד אם יתברר שדרושים לנו זנים המותאמים לאקלים חם יותר, אך הם נכחדו והגידולים הקיימים לא צולחים בתנאים החדשים?

מעבר לערך הכלכלי הטמון במגוון הביולוגי (מזון, תרופות, מוצרי עץ וכדומה) כפי שכבר ציינו, יש למגוון הביולוגי תרומה חשובה לקיומן של המערכות תומכות החיים של כדור הארץ, באמצעות מגוון של שירותי חינוס שהוא מספק, כמו טיהור מים וטיהור אוויר, מיתון סחף ושטפונות, ייצוב חלקי של האקלים וכדומה.

אחת הדוגמאות המשמשת לניתוח הערך הכלכלי של שירותי החינוס של הטבע הוא תהליך ההאבקה. 80% מהגידולים החקלאיים בעולם מאובקים על ידי מאביקי בר או בר למחצה. ערכם הכלכלי של שירותי ההאבקה שמספקות דבורי הדבש גבוה פי 60 עד 100 מערכו של הדבש שהן מייצרות. שירותי ההאבקה של דבורי הדבש לחקלאות בארה"ב מוערכים בכ-4-6 מיליארד דולר. אך מכיוון שבני-אנוש נוטים להוריד מערכם של דברים המצויים בשפע ובחינם, הם מתעלמים מתרומתם של שירותי הטבע הללו. כיום מינים רבים של מאביקים עומדים בסכנת הכחדה וברור שיהיו לכך השלכות כלכליות מרחיקות לכת.

האם שיקולים כלכליים הם המפתח לשימור הטבע?

האם עלינו לשמר יער גשם רק בשל הערך הכלכלי של התרופות ומיני המזון הפוטנציאלי המתחבאים בין ענפיו? האם עלינו לשמר את היער בגלל שהוא חלק

מהמערכות תומכות החיים של כדור הארץ? ואולי התשובה נמצאת בערכי התרבות שלנו? באיזו קלות אנו מרשים לעצמנו להתעלם מכל היופי וההוד שבטבע? האם אכן אנחנו רוצים לחיות בעולם שכולו מלאכותי? מהן ההשלכות של מצב כזה על הרווחה הנפשית של בני האדם? אם היינו שואלים אם מותר או ראוי להרוס בבלדזורים מוזיאון. על כל יצירות האמנות שבו, כדי לבנות על שטחו בית חרושת שיספק מקומות עבודה רבים? השאלה היתה נראית מופרכת לחלוטין – מי יעלה על דעתו רעיון שכזה? ובכל זאת, בכל יום ברחבי העולם כמעשה שבשגרה, נכרתים ונשרפים יערות גשם כדי להפכם לשדות מרעה ובכך נכחדות יצירות חד-פעמיות של הטבע – מינים שחולקים אתנו את העולם. האומנם אין מענה לצרכים של בני האדם בלי להכחיד את הטבע? האומנם תוכל האנושות להתקיים בלי רוב המינים השותפים לעולמה?

חיוניות השמירה על המגוון הביולוגי אינה שנויה במחלוקת, אך הרבה מהפעילויות שאנו נוהגים לכנותן "פיתוח" גורמות לפגיעה במגוון הביולוגי, לעתים קרובות לפגיעה בלתי הפיכה.

בשנות השמונים התפשטה התודעה שחייבים למצוא דרך לספק את הצרכים של בני האדם מבלי לפגוע בתהליכים תומכי החיים של כדור הארץ. לשם כך מונתה בשנת 1983 הנציבות העולמית של האו"ם לנושאי סביבה ופיתוח בראשות ראש ממשלת נורבגיה, הגב' ברונטלנד, כדי להציע אסטרטגיות לטווח ארוך ל"פיתוח בר-קיימא של כדור הארץ". בשנת 1987 פרסמה הוועדה את מסקנותיה בדו"ח הקרוי "עתידנו המשותף". המסר בדו"ח ברור: לא כל פיתוח אכן תורם לרווחה האנושית. בדרכי פיתוח רבות גוברת הפגיעה בטווח הארוך על פני היתרונות בטווח הקצר. החברה האנושית חייבת להבטיח את צורכי ההווה בלי לסכן את צורכיהם של הדורות הבאים. פיתוח בר-קיימא אינו מבחין בין פיתוח כלכלי, טיפול בבעיות סביבה וטיפול בבעיות חברתיות, אלא רואה בכולן מקשה אחת. גם הטיפול בבעיית העוני בעולם הוא חלק בלתי נפרד מהטיפול בבעיות הסביבה.

בהמשך ליוזמה הזאת, וברוח אותם דברים, התקיים בשנת 1992 בריו דה ז'נרו שבברזיל הכינוס העולמי הגדול ביותר שכונס אי פעם בנושא פיתוח בר-קיימא – "פסגת כדור הארץ". השתתפו בה נשיאים וראשי ממשלות מרוב מדינות העולם. בכינוס חתמו נציגי המדינות המשתתפות על אמנת ריו, שכללה 27 עקרונות לפיתוח בר-קיימא של העולם. כמו כן נוסחה תכנית מקיפה שכונתה "אג'נדה 21" – סדר יום עולמי למאה ה-21 – המתרגמת את העקרונות הללו לתכנית פעולה מפורטת שתוביל לשינוי דגם הפיתוח העולמי לדגם פיתוח בר-קיימא. האג'נדה פותחת במילים הבאות:

"האנושות ניצבת בפני רגע מכריע בהיסטוריה. אנו עומדים בפני מצב של הנצחת פערים בין אומות ובתוכן, החמרתם של עוני, רעב, בריאות לקויה ובערות, יחד עם הידרדרות מתמשכת של המערכות האקולוגיות שאנו תלויים בהן לרווחתנו."

עם זאת, שילוב בין דאגה לסביבה מחד ופיתוח מאידך, יביאו למילוי צרכים בסיסיים, לשיפור תנאי מחיה לכל, לקיום מערכות אקולוגיות מוגנות ומנוהלות טוב יותר ולעתיד בטוח ומשגשג יותר. אין אומה שביכולתה להשיג זאת בכוחות עצמה, אך יחד נוכל – בשותפות עולמית לפעול למען פיתוח בר-קיימא.

מתוך הכרה בחיוניות של שמירה על המגוון הביולוגי כחלק בלתי נפרד מן המאמץ להגיע לפיתוח בר-קיימא, נחתמה בפסגת ריו גם האמנה לשמירה על המגוון הביולוגי. עד שנת 1999 הצטרפו אליה 175 מדינות. ישראל חתמה על האמנה עם רוב מדינות העולם כבר בשנת 1992 ואשררה אותה באוגוסט 1995.

חשוב לזכור שאין די באמנות. עלינו לדאוג לכך שהמילה הכתובה תהפוך למציאות בשטח. מדינת ישראל, בעלת מגוון ביולוגי עשיר במיוחד עקב מיקומה הייחודי בחיבור היבשות, נופה המגוון, ותנאי האקלים שלה, טרם השכילה להפוך את השיקול של בריאות המערכות האקולוגיות לחלק בלתי נפרד ממערכת קבלת ההחלטות של בינוי ופיתוח, ועל כן מצער לציין שהמגוון הביולוגי נמצא בה עדיין בסכנה חמורה.

קיום המגוון הביולוגי, מתוך אג'נדה 21 והצהרת ריו (פרק 15)

המטרות והפעילויות בפרק זה מיועדות לשפר את השימור של המגוון הביולוגי ואת השימוש בר-הקיימא במשאבים הביולוגיים, וכן לתמוך באמנת המגוון הביולוגי. הטובין (goods) והשירותים החיוניים לקיומו של האדם על פני כדור הארץ תלויים במגוון ובשונות של גנים, מינים, אוכלוסיות ומערכות אקולוגיות. משאבים ביולוגיים מספקים מזון, ביגוד, דיור, תרופות ומזון רוחני. מרבית המגוון הביולוגי של כדור הארץ נמצא במערכות אקולוגיות טבעיות של יערות, סוונות, שטחי מרעה, מדבריות, טונדרות, נחלים, אגמים וימים. מאגרים נוספים של מינים מצויים גם בשדות חקלאיים, במטעים ובגינות וכן בבנקי גנים, בגנים בוטניים ובגני חיות. בחידושי הביוטכנולוגיה, המבוססים על החומר הגנטי של צמחים, של בעלי-חיים ושל מיקרו-אורגניזמים, טמון פוטנציאל עצום לחקלאות ולרפואה. למרות מאמצים הולכים וגדלים, בעשרים השנים האחרונות (נכון ל-1992) נמשך אבדן המגוון הביולוגי העולמי, בעיקר בשל פעילויות אדם – כמו הרס בתי גידול, זיהום, ניצול-יתר של משאבי טבע, וכן העברה לא מבוקרת של מיני חי וצומח זרים ופולשניים. יש במצב זה משום איום חמור על ההתפתחות האנושית. הצעות באג'נדה 21 לשמירת המגוון הביולוגי קוראות לממשלות לזרז את ביצוע אמנת האו"ם למגוון ביולוגי; לאמץ שיטות מסורתיות וידע של עמים ילידים וקהילותיהם; לחלק בהגינות ובשוויוניות את התועלות הנובעות מהמגוון הביולוגי ומהשימוש במקורותיו הביולוגיים והגנטיים, כולל ביוטכנולוגיה, בין ארצות המוצא של המשאבים לבין המשתמשים בהם;

ולפתח אסטרטגיה לאומית לשימור המגוון הביולוגי, לשימוש בר-קיימא במשאבים ביולוגיים ולהעברה בטוחה של ביטכנולוגיה, בעיקר למדינות מתפתחות. דרושה עריכת סקרים לאומיים כדי להרכיב רשימת מצאי של המשאבים הביולוגיים, כדי לשפר את ההבנה המדעית והכלכלית בדבר חשיבותו של המגוון הביולוגי ותפקודיו וכדי להציע סדרי עדיפויות לפעולה. כמו כן, צריך להעריך את ההשלכות הכלכליות והחברתיות ואת התועלות של הגנת המגוון הביולוגי. המידע שיתבסס על סקרים לאומיים שוטפים יתעדכן מעת לעת וידווח ברשת מידע ותקשורת עולמית. תסקירי השפעה על הסביבה ייערכו עבור פרויקטים של פיתוח הצפויים להשפיע על המגוון הביולוגי. יש צורך להשתמש בתמריצים כלכליים כדי לעודד שמירה על המגוון הביולוגי ושימוש בר-קיימא במשאבים ביולוגיים. על שמירת המגוון הביולוגי להיעשות על-ידי שימור מערכות אקולוגיות ובתי גידול טבעיים בבית הגידול המקורי (in situ) ובאמצעי שימור מחוץ לבית הגידול המקורי (ex situ), עדיף במדינה שבה מצוי אותו מין. חשוב ביותר לקדם שיקום של מערכות אקולוגיות פגועות ומינים בסכנת הכחדה; צריך לעודד אורח חיים בר-קיימא בשטחים סמוכים לשטחים מוגנים. יזוהו ויאותרו שיטות מסורתיות וידע מקומי רלוונטי לשימור המגוון הביולוגי ולשימוש במשאביו ותובטח השתתפותן של קהילות מקומיות בכלל, ושל נשים בפרט, בתועלות הכלכליות והמסחריות הנובעות מהשימוש בשיטות המסורתיות ובידע המקומי. יש צורך בקידום שיתוף פעולה טכני ומדעי ובמתן תשומת לב מיוחדת להעברת טכנולוגיה, לתכניות הכשרה מקצועית וכן לפיתוח מחקר וכלי ממשק כעשביות, מוזיאונים, בנקי גנים ומעבדות.

תודתנו נתונה למשרד לאיכות הסביבה על האישור לצטט מתוך: אהרון-פרומקין תמר, פרומקין רון (עורכים), 2002, אג'נדה 21 והצהרת ריו - רקע, תקציר והיבטים ישראליים, המשרד לאיכות הסביבה.

לקראת המאה של הסביבה: חוזה חברתי חדש עבור המדע

ג'יין לובצ'נקו

ככל שגדלה המודעות להיקף השפעתה של האנושות על המערכות האקולוגיות של הפלנטה, גוברת והולכת ההכרה בזיקות האינטימיות הקושרות בין מערכות אלה לבין בריאות האדם, הכלכלה, הצדק החברתי והביטחון הלאומי. תפישתנו לגבי מה יש לכלול במושג 'הסביבה' משתנה במהירות. שינויים חברתיים וסביבתיים תכופים ובלתי צפויים מציבים בפני מדענים את אתגר הקביעה של חוזה חברתי חדש; חוזה, שיבטא מחויבות מצד כל המדענים להקדיש את כוחותיהם וכישורונם לבעיות הבעורות ביותר שעל סדר היום, ביחס פרופורציוני לחשיבותן, ובתמורה למימון ציבורי. הצרכים החדשים ומחוסרי-המענה של החברה כוללים: מידע מקיף יותר, הבנה, וטכנולוגיה שתאפשר לחברה לנוע לקראת ביוספרה מקיימת (sustainable) יותר – טכנולוגיה חסונה מבחינה אקולוגית, ישימה מבחינה כלכלית וצודקת מבחינה חברתית. מחקר בסיסי חדשני, תרגום מהיר ואפקטיבי יותר של ידע חדש וקיים לכדי מדיניות, העברתו המהירה והאפקטיבית יותר למקבלי-החלטות, והנחלתו המשופרת של הידע הזה בקרב הציבור, יהיו נחוצים כולם על מנת להתמודד עם אתגר זה.

כיום, מדענים נהנים מפריבילגיה המאפשרת להם להתמסר לתשוקתם למדע, ובאותה העת לספק לחברה דבר-מה מועיל. לפריבילגיה זו נלווית, כמובן, אחריות כבדה. הימצאותנו בשלהי המאה והאלף מספקת הזדמנות להתבוננות בטבעה של האחריות הזו, ולהערכת המידה בה אנו עומדים.

המפעל המדעי סיפק לנו הבנה יוצאת מן הכלל של גופינו, תודעתנו, עולמנו והיקום בו אנו חיים. פריצות הדרך שנבעו עד כה ממחקר החלל, ממחקר צבאי וממחקר רפואי, כמו גם מתחומים רבים אחרים – אשר נשענו כולם על מחקר בסיסי לכל רוחב ענפי המחקר – היו מדהימות. חקר החלל, לדוגמה, העניק לנו לא רק הבנה חדשה של היקום ומוצרים וטכנולוגיות מצוינים, אלא גם תחושה חדשה לגבי העולם ולגבי עצמנו: תחושה ש'נלכדה' והונצחה על ידי אותה תמונה ראשונה שהציגה את כדור הארץ כולו כנגד הרקע השחור של החלל. המחקר המדעי מתקדם בזינוק בכל החזיתות. היתרונות כוללים מצעד מסחרר של ידע חדש, הזדמנויות כלכליות ומוצרים – הנעים מניתוחי לייזר ועד בדיקות גנטיות, ממערכות מיצוב גלובאליות (GPS) ועד לחיזוי של אירועי אל-ניניו, מגילוי תרופות חדשות המופקות ממוצרים טבעיים ועד מערכות מידע חדישות.

בארצות הברית, חלק ניכר מן ההשקעה שייצרה את ההון הזה נבע מתמיכה פוליטית איתנה מצד שתי המפלגות, ומהתלהבות עממית מן המדע, שהחלו במשך מלחמת העולם השנייה וגברו באופן ניכר בשנות ה-60 של המאה העשרים. תמיכה זו התבססה בחלקה על חזרה חברתית (בלתי כתוב) בין המדע לחברה, ובמיוחד על הציפייה שהשקעה ניכרת במחקר תוביל לניצחון במלחמה (תחילה מלחמת העולם השנייה, ואחר כך המלחמה הקרה), לניצחון במרוץ לחלל, ולהתגברות על מחלות (זיהומים בקטריאליים, פוליו וסרטן). שיעור ההשקעה של ארצות הברית במדע השתנה באורח דרמטי לאורך תקופה זו. ההשקעה במדע בקרב רוב האומות המפותחות מבוססת על ציפייה דומה, של השבת ידע וטכנולוגיה כתמורה לחברה. המפעל המדעי שייצר את ההון הזה משמש מושא להערצה ולקנאה. השאלה שברצוני להעלות היא: האם המפעל שסיפק מענה לאתגרי-עבר אלה, ערוך הוא לקראת האתגרים המכריעים והמבהילים באותה המידה, הרובצים לפתחנו. התשובה שאני מחויבת לתת היא – "לא". ברצוני לטעון כי האתגרים המיידיים והממשיים הניצבים מולנו לא הוערכו במלואם, ולא זכו להכרה הולמת מצד קהילת המדענים שבאחריותה – ושיהיה באחריותה – להתמודד עמם.

אחריותנו המשותפת כלפי החברה חייבת לכלול בחינה-מחדש תקופתית של מטרותינו – בחינה שתחול על הקהילה המדעית כולה ותוביל לשינוי מסלולינו, אם כך יידרש. העובדה שהקהילה המדעית הגיבה לצרכים חברתיים כמה פעמים במאה הקודמת, גם אם בדרך כלל בעתות מלחמה, מספקת חיזוק לכך שקיימת האפשרות להתגייס ולשנות מסלול במהירות נוכח משבר. כפי שהגיאולוג מרשל קיי אהב לומר, "מה שקורה, יכול לקרות".

למרות שפֶּעֶת הדו"חות הבוחנים את עתיד המפעל המדעי (1, 2), אני רואה צורך בנקודת מבט חדשה על השאלה, כיצד המדעים יכולים, וצריכים, להתקדם – ובו בזמן להשיב גמול לחברה. נקודת מבט שונה זו מעוגנת עמוקות בידע אודות שינויים ברורים ובני-זיהוי, המתחוללים בעולמות הטבעיים והחברתיים שסביבנו. שינויים אלה נרחבים, מתפשטים ורבי-השפעה כל כך, עד כי הם דורשים את תשומת ליבנו המיידית. קיים צורך מידי בידע מדעי שיאפשר ליחידים ולמוסדות את ההבנה הנדרשת לשם קבלה מושכלת של החלטות מדיניות וניהול ולפתח בסיס לטכנולוגיות חדשות.

מאמר זה מארגן סביב ארבע שאלות מפתח: כיצד משתנה עולמנו? מהן ההשלכות של השינויים האלה עבור החברה? מהו תפקיד המדע בהתמודדות עם האתגרים שמעלה העולם המשתנה? וכיצד על המדענים להגיב לאתגרים אלו? מטרתי בהפצת הרהורים אלה היא לעורר בקהילה המדעית שיח אודות הנושאים הללו. אני מקווה כי התוצאה תהיה בחינה מחדש, באופן מעמיק, של סדרי העדיפויות שלנו ושל פעולותינו – כיחידים ובאופן קולקטיבי.

שינויים גלובליים וסיבותיהם

כיצד משתנה עולמנו? היבט אחד עיקרי של השינוי הוא שכעת אנו חיים על פלנטה נשלטת-אנוש. הגידול באוכלוסיית המין האנושי והגידול בכמות המשאבים המנוצלים משנים הם את כדור הארץ בדרכים חסרות תקדים. דרך פעילויות החקלאות, הדיג, התעשייה, השעשועים והסחר הבינלאומי, בני אדם גורמים שלושה סוגים כלליים של שינוי. יוזמות אנושיות: (1) משנות את האדמה ואת הים - דרך בירוא אדמות, ייעור, רעייה, עיור, כרייה, דיג-מכמורת, חפירה וכן הלאה; (2) משנות את המעגלים הביו-גיאו-כימיים העיקריים - של פחמן, חנקן, מים, כימיקלים סינתטיים, וכיוצא בזה; ו-(3) מוסיפות או מחסירות מינים ואוכלוסיות מובחנות-גנטית, דרך שינוי או אובדן של בתי-גידול, ציד, דיג והחדרת מינים או פלישה שלהם (4-6).

השינויים הנובעים מכל זאת מתועדים היטב יחסית, אך על פי רוב אינם מוערכים בטוטאליות שלהם, בחשיבותם או במשתמע מהם. ויטוסק ועמיתים סיפקו סיכום תמציתי ודרמטי של מידת השליטה האנושית על כדור הארץ בשש המסקנות הבאות (4): (1) הפעילות האנושית שינתה בין שליש משטח האדמה למחציתו (7); (2) ריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה עלה בקרוב לשלושים אחוזים מתחילת המהפכה התעשייתית (8); (3) יותר חנקן אטמוספרי מקובע על ידי האנושות מאשר על ידי כל המקורות הטבעיים היבשתיים גם יחד (9); (4) מעל למחצית המים המתוקים הנגישים שעל פני השטח מנוצלים על ידי האנושות (10); (5) כרבע ממיני הציפורים על כדור הארץ כבר הובאו לידי הכחדה (11); ו-(6) קרוב לשני שליש מאזורי הדיג הימיים הראשיים כבר מנוצלים עד קצה גבול יכולתם, מנוצלים מעבר לגבול הזה, או ממוצים לגמרי (12).

קצבם של רוב השינויים הללו והיקפם המרחבי הולך וגדל. כמו כן, נוספו גם כמה שינויים חדשים. אנו ממשיכים לייצר ולשחרר לסביבה תרכובות כימיות חדשות - הנעות מפחמנים כלורו-פלואוריים ועד תרכובות אורגאניות עמידות כגון די.די.טי ופי.סי.בי, ורק אחדים מתוך כאלף הכימיקלים המשוחררים מדי שנה, (13) מפוקחים. ההשפעות הביולוגיות של רובם אינן ידועות; במיוחד לא ידועות פעולות הגומלין הסינרגטיות של תרכובות שונות (14) וההפרעות [שעלולות הן לגרום] במערכות התפתחותיות והורמונאליות (15).

רבים מן השינויים הפיסיקאליים, הכימיים והביולוגיים מחוללים שינויים נוספים בתפקוד מערכת כדור הארץ, ובכלל זאת במיוחד (1) שיבושים באקלים הגלובלי (16); (2) הידלדלות של האוזון הסטרטוספרי (17); (3) אובדן בלתי הפיך של מגוון ביולוגי (18, 19); ו-(4) שינויים בצורת התפקוד של מערכות אקולוגיות סביב העולם (6, 20).

אין מנוס ממסקנות סקירה זו: בעשורים האחרונים בני האדם קמו ככוח-טבע חדש. אנו משנים מערכות פיסיקאליות, כימיות וביולוגיות בדרכים חדשות, בקצבים

מהירים יותר ובהיקפים מרחביים נרחבים יותר מכפי שנרשם אי פעם על פני כדור הארץ. מבלי שיתכוונו לכך, פתחו בני האדם בניסוי רחב היקף על הפלנטה שלנו. תוצאת ניסוי זה אינה ידועה, אך היא נושאת משמעויות הרות גורל עבור החיים על פני כדור הארץ בכללותם. הערכה של החברה האקולוגית של אמריקה בשם "יוזמת הביוספרה המקיימת", הקובעת כי "בעיות סביבתיות הנובעות מפעילויות אנושיות החלו לאיים על היציבות (sustainability) של מערכות כדור הארץ התומכות בחיים", [וכן] "בין האתגרים הגורליים ביותר הניצבים בפני האנושות, מצויים שימור משאבי כדור הארץ, שיקומם וניהולם בתבונה" (21).

העולם משתנה גם באינספור דרכים אחרות. אי הצדק השורר בתוך כל אומה ובין האומות השונות החרף; הופיעו מחלות מדבקות חדשות; חל גידול דרמטי במספר הממשלות הדמוקרטיות; מערכות טכנולוגיה, תקשורת ומידע עברו תמורות מהפכניות; שווקים הפכו גלובליים; העולמות הביוטיים והתרבותיים נהיו הומוגניים; קצב הובלת האנשים, הסחורה, התרופות והאורגניזמים ברחבי העולם עלה; הופיעו תאגידים רב-לאומיים והתרבו הארגונים הבלתי ממשלתיים (22). רוב השינויים הללו צופנים בחובם השלכות הרות-גורל לגבי עתידנו. נחוצה בבירור אינטגרציה של ממדיהם האנושיים של השינויים הגלובליים הללו עם ממדיהם הפיסיקאליים-כימיים-ביולוגיים.

התמורות האינדיבידואליות והקולקטיביות שתוארו לעיל שונות כל כך בחשיבותן, בהיקפן ובסוגן מתמורות העבר, עד שאפילו הרישומים והמודלים הטובים ביותר שלנו אינם מסוגלים להעניק אלא הכוונה מועטה בלבד בנוגע להיקף, או אפילו בנוגע לאופי, של תגובותינו האפשריות לאתגרים הללו. סביר ביותר להניח כי בעתיד יופיעו קצבי שינוי גוברים; גיוון רב יותר במשתני המערכת; אי-וודאות גבוהה יותר בנוגע לתגובות של מערכות ביולוגיות, אקולוגיות, חברתיות ופוליטיות מורכבות, ויותר אירועים בלתי-צפויים. העולם של לקראת סוף המאה העשרים שונה לחלוטין מן העולם שבו התפתח המפעל המדעי הנוכחי. האתגרים שניצבים בפני החברה עצומים הם, ודורשים מן הקהילה המדעית מידע, ידע, תבונה, ואנרגיה של ממש. גישת ה'עסקים כרגיל' לא תספיק.

שינויים עבור שירותי מערכת אקולוגית ועבור האנושות

לרבים מן השינויים הסביבתיים ישנן השלכות חמורות עבור האנושות. שיבוש אקלים, עלייה בקרינה האולטרה-סגולה ומחסור במי שתייה מספקים דוגמאות לתוצאות בלתי רצויות. רבות מן ההשלכות החמורות ביותר גלויות פחות, ומתווכות דרך תפקוד המערכות האקולוגיות. [אנו] בני האדם, והמערכות החברתיות והכלכליות שלנו, תלויים באורח אינטימי במערכות האקולוגיות שכעת משתנות הן במהרה (21, 23). מערכות אקולוגיות - החל בביצות, ביערות, בשוניות אלמוגים ובמישורי קרח

צחיחים, וכלה בערבות-עשב, במצעי-אצות, בשפכי נהרות ובאוקיינוס הפתוח – מספקות לאנושות קשת רחבה של טובין ושירותים חיוניים. הן המערכות התומכות של כלל החיים על פני כדור הארץ. טובין ושירותים אקולוגיים הם המפתח ליכולתנו להבין כיצד שינויים במגוון הביולוגי, באקלים, בקרקע, באוזון הסטרטוספרי, במים, בחנקן וכו' טומנים בחובם השלכות מיידיות וארוכות-טווח – כלפי האנושות. המפתח הוא פשוט בכך שהרווחה והשגשוג האנושיים תלויים הם בקיומן של מערכות אקולוגיות מגוונות ומתפקדות, בדרכים שאנו רק מתחילים להעריך.

רוב האנשים מודעים לכך שבני אדם מחלצים טובין מן הטבע: לדוגמה, מזון ים, חיות ציד, מספוא, עצי בניין, מוצרי רוקחות וגנים. אנו קונים טובין אלה, מוכרים אותם וסוחרים בהם. עד לאחרונה, כמעט ולא הוקדשה תשומת לב לתועלת נוספת המסופקת על ידי מערכות אקולוגיות טבעיות: שירותי התמיכה בחיים היסודיים ביותר, שבלעדיהם הציביליזציה תחדל מלשגשג (24, 25). "שירותי המערכת האקולוגית" הללו כוללים טיהור של אוויר ומים; מיתון של שיטפונות ובצורות; טיהור של פסולת מרעלים והרכבתה מחדש; יצירתן וחיידושן של האדמה ושל הפוריות שלה; האבקה של יבולים ושל צמחייה טבעית; שליטה ברוב הגדול של המזיקים החקלאיים; הפצת זרעים והעברה של חומרים מזינים; שימור מגוון המינים שמתוכו האנושות שאבה מרכיבי מפתח של המפעל החקלאי, הרפואי והתעשייתי שלה; הגנה מפני הקרינה אולטרא-סגולה המזיקה של השמש; ייצוב חלקי של האקלים; מיתון של טמפרטורות קיצוניות ושל כוח הרוחות והגלים; תמיכה בתרבויות אנושיות מגוונות; ואספקת יופי אסתטי וגירוי אינטלקטואלי, המרוממים את רוח האדם (24).

על אף שהשירותים הללו חיוניים הם לחברות האנושיות, קיומם המתמשך נתפס כמובן מאליו. מעולם עד כה לא איימו פעולות אנושיות על אספקתם כפי שמאיימות הן היום. כיוון ששירותים אלה אינם נסחרים בשווקים כלכליים, לחברה אין מנגנוני משוב שיאותתו על שינויים בהיצע שלהם או על הידרדרות במערכות האקולוגיות היסודיות שמייצרות אותם. ניסיונות מגוונים נעשו כדי לחשב את ערך שירותי המערכת האקולוגית הגלובלית; כולם אומדים את הערך בטריליוני דולרים אמריקאיים (24-27). כאשר הקרקע עוברת תמורות באורח גלובאלי, כאשר מעגלים ביו-גיאוכימיים נתונים לשינויים עצומי היקף, וכאשר אובד המגוון של גנים, אוכלוסיה, מינים ומערכות אקולוגיות, תפקוד המערכות האקולוגיות משתבש, והאספקה המתמשכת של שירותי מערכת אקולוגית נתונה תחת איום (4, 6, 20, 21, 24). איומים עיקריים על שירותי מערכות אקולוגיות כוללים הידרדרות או אובדן של בתי גידול, שינויים במגוון המינים ויחסי גומלין סינרגיסטיים בין גורמים אלה לבין שינוי אקלים מהיר, שחרור חומרים רעילים, והתכלות האוזון הסטרטוספרי.

מיזוג מידע על שירותי מערכת אקולוגית, שנערך לא מזמן על ידי החברה האקולוגית של אמריקה (28), נחתם במסקנה הבאה:

"בהתבסס על הראיות המדעיות המצויות בידינו, אנו בטוחים כי שירותי מערכת אקולוגית חיוניים הם לציביליזציה. שירותי מערכת אקולוגית מתפקדים בהיקף כה עצום ובדרכים כה מורכבות, שנחקרו כה מעט, עד כי רובם אינם יכולים להיות מוחלפים על ידי טכנולוגיה. פעילויות אנושיות מדלדלות כבר עכשיו את זרם שירותי המערכת האקולוגית בהיקף נרחב. למעשה, אם המגמות הנוכחיות תימשכנה, האנושות תשנה באורח דרמטי את כל המערכות האקולוגיות הנותרות של כדור הארץ בתוך כמה עשורים. בנוסף, בהתבסס על ראיות מדעיות נוכחיות, אנו בטוחים כי רבות מן הפעילויות האנושיות, אשר משנות את המערכות האקולוגיות הטבעיות או הורסות אותן, עלולות לגרום להידרדרות בשירותי מערכת אקולוגית, שערכם בטווח הארוך מגמד את התועלות הכלכליות לטווח הקצר שהחברה מפיקה מפעילויות אלה. ברמה הגלובלית, יש צורך במספרים גדולים מאוד של מינים ואוכלוסיות על מנת לקיים את שירותי המערכת האקולוגית. תפקודן של מערכות אקולוגיות רבות ניתן לשיקום בתנאי שפעילויות מתאימות יינקטו בזמן. אנו מאמינים כי שימושי קרקע ומדיניות פיתוח צריכים לחתור לאיזון בין שימור שירותי מערכת אקולוגית חיוניים לבין שקידה על השגת מטרות קצרות טווח של פיתוח כלכלי."

הגדרת הסביבה מחדש

א. ווילסון זיהה את חשיבות השינויים הסביבתיים הגלובליים שתומצתו לעיל, והעלה את הטענה כי האנושות עומדת כעת על סף "המאה של הסביבה". בהתבסס על מידע מתגלה והולך אודות שירותי מערכת אקולוגית וסוגיות סביבתיות אחרות, אני מבקשת לקחת את ביטויי [של ווילסון] צעד נוסף קדימה, ולהרחיב את השיח סביב השאלה מה מהווה "סוגיה סביבתית". בעודנו מתחילים להעריך את האופן האינטימי שבו בני אדם תלויים במערכות האקולוגיות של הפלנטה, הולך ונהיה ברור יותר כי סוגיות מרובות שנחשבו בעבר כבלתי-תלויות בסביבה, דווקא קשורות אל הסביבה באופן אינטימי. בריאות האדם, הכלכלה, צדק חברתי וביטחון לאומי – לכל אלה היבטים סביבתיים משמעותיים, שחשיבותם על פי רוב, אינה זוכה להערכה.

בריאות האדם. הולכת וגוברת ההכרה, כי לבריאות האדם ישנם מרכיבים סביבתיים כבדי-משקל. בין הדוגמאות הברורות יותר ניתן למנות את חשיבותם של איכות

אוויר נאותה, מי שתייה נקיים, מזון נקי וחשיפה מינימאלית לכימיקלים רעילים וקרינה אולטרא-סגולה. דוגמאות גלויות פחות לעין כוללות את השפעת הפרקטיקות של שימושי הקרקע, שינוי האקלים וצפיפות האוכלוסין על הופעת מחלות ועל התפשטותן (29-31). ניתן לקשור שינויים שחלו בעת האחרונה באפידמיולוגיה של מחלת ליים, וירוס ההנטה, מלריה, טריפנוסומיאזה, בילהרציה, כולרה וקדחת צהובה, לפרקטיקות המשתנות בשימושי הקרקע (29, 31). כך למשל, סלילת דרכים באמזוניה לשם הנגשת עץ ושינועו, הגבירה – יחד עם עלייה בצפיפות האוכלוסיה – את שכיחות המלריה ואת פיזור במרחב (32). כבישים, ותעלות המים העכורים הנלוות אליהם, מספקים תנאים מצוינים לגידול המספרי באוכלוסיות היתושים המעבירים את טפילי המלריה, ולהתפשטותן המרחבית.

כלכלה. כלכלה כרוכה בסביבה יותר מכפי שנוטים אנו לרוב להעריך (23, 37). לעתים קרובות נשמעת הטענה הכוזבת לפיה על החברה לבחור בין כלכלה לסביבה. במציאות, ברירה זו של "משרות לעומת סביבה" היא דיכוטומיה שגויה: ההכרעה האמיתית היא בין רווח לטווח הקצר לשגשוג ארוך-טווח ואיתן (23, 37, 38). תעשיית הביטוח מובילה במגזר הפרטי את המגמה של דאגה בנוגע לשינוי האקלים (39), בין השאר משום שעסקיה מצריכים פרספקטיבה של טווח ארוך. ההשלכות הכלכליות של עלייה בשכיחות אירועי מזג-אוויר קיצוניים ובחומרתם מהוות מניע חזק לפעול להפחתת הסתברות הגורמים האפשריים לאנומליות הללו.

פיתוח כלכלי ושגשוג תלויים בשמירה על זרם שוטף של שירותים המסופקים על-ידי מערכות אקולוגיות טבעיות. מקורות רווחה מהונדסים בידי אנוש מעודדים את התפישה הנפוצה והשגויה, לפיה הפקת שפע אינה מותנית בשימור מערכות אקולוגיות טבעיות – או אפילו מעוכבת על ידי מערכות כאלה (40). ואולם, בעוד אנו בני האדם מייבשים ביצות, מבראים יערות, משחיתים שוניות אלמוגים, מביאים אוכלוסיות טבעיות ומינים להכחדה ומחדירים מינים פולשים, אנו משבשים תכופות את תפקוד המערכות, או מאבדים את המערכת האקולוגית לגמרי. כשאנו נוהגים כך, אנו מתחילים לעורר עלויות בלתי-צפויות – ולפעמים עצומות בגודלן – כיוון שכעת עלינו לייצר, לגדל או לספק באופן אחר את מה שפעם קיבלנו בחינם.

דוגמה משכנעת לכך מספק ניתוח אפשרויות הספקת מי השתייה לעיר ניו-יורק, שנערך על ידי צ'יצ'ילניסקי והיל (27). באופן היסטורי, קו פרשת המים של הרי קטסקיל סיפק את שירות המערכת האקולוגית של סינון וטיהור מים. עם הזמן, מערכת קו פרשת המים הזו הוכרעה על ידי שפכים ונגר חקלאי, עד לנקודה שבה איכות המים הפכה לקויה. צ'יצ'ילניסקי והיל חישובו והשוו את העלויות של רכישת קו פרשת המים ושיקומו, כך שהוא יוכל להמשיך לספק את שירותי המערכת האקולוגית של טיהור וסינון מים (מיליארד דולר) לעומת העלויות של בניית מכון לטיהור וסינון מים (עלות

הון של בין שישה לשמונה מיליארד דולר, ועוד עלויות תפעול שנתיות של שלוש מאות מיליון דולר). השוואה זו מספקת הערכה של עלויות ההחלפה של שירות אחד בלבד המסופק על-ידי קו פרשת המים. שירותים אחרים כוללים בקרת שיטפונות, טיהור אוויר, יצירת אדמה פורייה והפקת קשת של טובין – מעצי-בניין ועד פטריות, כמו גם אתרים לנופש, השראה, חינוך ומחקר מדעי. אפילו אם מכירים בכך שלא כל שירותי המערכת האקולוגית ניתנים להחלפה על ידי תחליפים יצירי-אנוש, ניתוח זה מעניק פרספקטיבה ראויה על כמה מעסקות החליפין.

צדק חברתי. גם לצדק החברתי מרכיבים סביבתיים מהותיים (37, 41). לעתים תכופות, נטל השלכות ההידרדרות הסביבתית מושלך באופן לא פרופורציונאלי על כתפי קבוצות הסובלות מאפליה גזעית וכלכלית. יחידים או מדינות עשירים יותר יכולים לעמוד במחיר של רכישת מים מבוקבים, להתרחק מאתרים פגועים ומזהמים, להשיג גישה למידע על ברירות חלופיות, להשפיע על התהליכים הפוליטיים, להתמודד עם אסונות סביבתיים, לקנות מזון טוב יותר ולרכוש שירותים רפואיים וטיפולים איכותיים.

ביטחון לאומי. ביטחון לאומי נתפס באופן גובר והולך כסוגיה סביבתית, המאופיינת בקשרים מרובים ומורכבים בין גידול אוכלוסין, איכות סביבה וביטחון, כשהללו כוללים הגירות אנושיות, מלחמות, מחלות, שיבושים חברתיים, שיסוע פוליטי, תחרות על משאבים נדירים וטרור אקולוגי (42). ההידרדרות סביבתית ומחסור במשאבים (מים, עצי-הסקה, קרקע פורייה, יערות ואזורי דייג) זוהו כגורמי מפתח בקידום של שיבוש כלכלי, סכסוכים אתניים, מלחמות אזרחים, הגירה ומרידות ברחבי העולם: למשל בבנגלדש, הודו, מקסיקו, עזה, פקיסטאן, רואנדה, סנגל-מאוריטניה, דרום אפריקה, אל סלוודור, הונדורס, האיטי, פרו, הפיליפינים, הגדה המערבית וסומאליה (21, 43). "מלחמות דגים", כפי שהן מכונות, הנסבות על דגי הקוד והסלמון יקרי-המציאות, מציבות אתגרים מתמשכים למשרדי החוץ של ארה"ב וקנדה.

לאורך כהונתו כמזכיר המדינה של ארה"ב, וורן כריסטופר החדיר פרספקטיבה חדשה כשהתחייב להפוך סוגיות סביבתיות ל"חלק מן הזרם המרכזי של מדיניות החוץ של ארצות הברית". תוך שהוא מעצב פרספקטיבה חדשה ונועזת על ביטחון לאומי, הכריז כריסטופר כי "לסביבה השפעה עמוקה על האינטרס הלאומי שלנו בשתי דרכים. ראשית, כוחות סביבתיים חורגים מגבולות ומאוקיינוסים, ומאיימים במישרין על הבריאות, השגשוג והמשורות של האזרחים האמריקאיים. שנית, לעתים תכופות, הענקת מענה לסוגיות של משאבים לאומיים חיונית לשם השגת יציבות פוליטית וכלכלית, ולשם שקידה על השגת מטרותינו האסטרטגיות ברחבי העולם" (44). ב-1997, מזכירת המדינה של ארצות הברית, מדלן ק. אולברייט, השיקה את הדו"ח השנתי הראשון של משרד החוץ על דיפלומטיה סביבתית, הקובע כי "בעיות סביבתיות מצויות לעתים תכופות

בלב האתגרים הפוליטיים והכלכליים הניצבים מולנו ברחבי העולם... לא היינו מבצעים את תפקידנו כמשכני שלום וכמכונני דמוקרטיה, אם לא היינו מתפקדים נאמנה גם כממונים על הסביבה הגלובלית" (45).

לסיכום, ביטחון לאומי, צדק חברתי, כלכלה ובריאות האדם נתפסים בצדק כסוגיות סביבתיות, כיוון שכל אחד מהם תלוי במידה מסוימת במבנה, בתפקוד ובכושר השיקום של מערכות אקולוגיות. קשרים בין המערכות החברתיות, הפוליטיות, הכלכליות, הפיסיקאליות, הביולוגיות, הכימיות והגיאולוגיות מציבים בפני המדענים אתגרים חדשים. מהו תפקיד המדע בהתמודדות עם אתגרים אלה?

תפקידי המדע

מהות המדע היא השקידה על השגת ידע אודות 'איך העולם עובד'; שקידה, המלווה בתהליך מוסדר של חקירה, הגיון ומתן תוקף. [אנו ה]מדענים מעורבים במדע כיוון שאנו סקרנים לגלות מדוע דברים הם כפי שהנם, ומתענגים על ההנאה ועל האתגר שבפתרון בעיות, ומייחלים לתרום דבר מה מועיל לדורות הנוכחיים והבאים. החברה תומכת במדע כיוון שמהלך זה הפיק בעבר תועלות, ומצופה כי הוא יניב פירות גם כעת. תפקידי המדע המסורתיים היו לגלות, להפיץ וליישם ידע, ולהכשיר את דור המדענים הבא.

החברה מצפה כיום לשתי תוצאות תמורת השקעתה במדע. הראשונה היא שהמדע שייווצר יהיה הטוב ביותר שבאפשר, מבלי להתחשב בתחום; השנייה היא שייווצר ממנו דבר מה מועיל. המטרה הראשונה משקפת את "הציפייה שמדענים יתורו... אחר האמת בנוגע לשאלה כיצד עובד הטבע... וייצרו תוצאות בנות-שכפול ובנות-אימות באופן בלתי-תלוי, תיאוריות עקביות מבחינה לוגית, וניסויים שיסבירו דפוסים בטבע" (46). הדגש המושם על מדע, אשר נסקר על-ידי עמיתים, עוצב על מנת להלום ציפייה זו.

החלק השני של החוזה משקף את הציפייה כי ההשקעה מצד החברה תוביל לא רק לשיפור בהבנתנו את העולם, אלא גם להשגת מטרות שהחברה סימנה אותן כחשובות - ניצחון במלחמות, הבסת מחלות, ייצור מוצרים ושיפור הכלכלה. תכופות, למרכיב שני זה מוענק משקל כבד בקבלת החלטות על הקצאת מימון. כפי שקבע הנשיא ג'ון פ. קנדי, "מדענים לבדם יכולים לקבוע את יעדי מחקריהם, אך החברה, בהציעה את תמיכתה למדע, חייבת להביא בחשבון את צרכיה שלה" (47). לכן, הן הרציונאל להשקעה ציבורית במדע, והן החלטות מסוימות על הקצאות משאבים, כרוכים הם בציפייה לתוצאות מועילות לחברה.

לאורך השנים, צורכי החברה הלכו והשתנו. [בעוד שבעבר נתפס המחקר המדעי כאמצעי מרכזי גם למימושן של מטרות צבאיות ורפואיות], בשנים האחרונות חל שינוי

ברציונאל שמאחורי תמיכה במדע, במחקר הנדסי ובחינוך. ככל שהעיונות הפוליטי בין הכוחות הגדולים דועך, הזירה הראשית לתחרות עולמית הולכת ונעשית יותר ויותר כלכלית, ובכלכלה גלובלית חדשה זו – אשר מונעת על ידי רעיונות וחדשנות – ידע הוא משאב מכריע.

בשנים הסמוכות יותר לזמננו, כשמימון המדע הצטמצם ותביעות נוספות מן הקרנות התרבו, הושם דגש חזק אף יותר על הצורך בידע חדש לשם יצירת מוצרים ותהליכים חדשים: לדוגמה, להזנת התקדמות טכנולוגית, לצבירת יתרון תחרותי בשוק הגלובאלי, או לפיתוח טיפולים רפואיים חדישים (2, 49). במובן זה, לעתים קרובות נטען כי מימון ציבורי של מדע הוא השקעה המניבה תמורות כספיות. בעולם של ימינו, מתברר כי חשוב באותה מידה לערוך גם שימוש שונה בידע מדעי: [שימוש ב]ידע לשם הנחיית החלטות מדיניות וניהול (51–49).

הדגש האחרון, על תפקיד המדע בהנחיית החלטות, הולך ומתגלה כאחד הצרכים המכריעים של החברה שנותרו ללא מענה לקראת סוף המילניום (21, 49, 50). הבנה טובה יותר של ההשלכות האפשריות של חלופות מדיניות שונות תאפשר קבלה של הכרעות מושכלות יותר. רבות מן ההחלטות מולן ניצבת החברה הנן החלטות מוסריות ואתיות, ומידע מדעי עשוי להנחותן. המדע אינו מספק את הפתרונות, אך הוא יכול לסייע בהבנת השלכותיהן של הכרעות שונות.

גודש התמורות הביולוגיות, הפיסיקאליות, הכימיות, החברתיות והכלכליות שנסקרו בקצרה עד כה, מצביע על מספרן הגדול לאין-שיעור של הדרכים בהן משתנים צורכי החברה בנוגע לידע מדעי. קשת רחבה של מחקרים המתמקדים באתגרים סביבתיים מצביעה כולה על הצורך הדחוף ב-(א) הבנה, פיקוח והערכה משופרים, על מנת להגן על הסביבה, לנהלה ולשקמה; (ב) הפצה אפקטיבית יותר של ידע קיים לזירות ציבור ולזירות מדיניות; (ג) פיתוח טכנולוגיות חדשות (למשל, [ל]הפחתה של פסולת וייצור) לשם צמצום רב ככל האפשר של טביעת הרגל האקולוגית של הפעילויות האנושיות; ו-(ד) הדרכה טובה יותר בקבלת החלטות נוכח הלא-נודע (50, 51).

לסיכום, תפקידי המדע – לגלות ידע, להפיצו ולהשתמש בו, ולהכשיר את דור המדענים הבא – לא השתנו; אך בצורכי החברה חלו תמורות דרמטיות. ההיקף הנוכחי – והגדל – של השליטה האנושית על הפלנטה, ידרוש סוגים חדשים של ידע ויישומים מהמדע: ידע לשם צמצום המידה בה אנו משנים את מערכות כדור הארץ; ידע לשם הבנת המערכות האקולוגיות של כדור הארץ והדרך שבה הן מקיימות פעולת-גומלין עם מרכיביו המרובים של שינוי גלובאלי מעשה ידי אדם; וידע לשם ניהול הפלנטה (4).

חוזה חברתי חדש למדע?

מתוך הבחנה בכך שהעולם משתנה בדרכים חדשות ושוונות, בקצבים גבוהים יותר ובהיקפים רחבים יותר מכפי שתועד אי פעם בעבר, ומתוך זיהוי הצורך הדחוף בידע לשם הבנת הביוספרה וניהולה, אני מציעה כי הקהילה המדעית תנסח חוזה חברתי חדש עבור המדע. חוזה זה יתמודד עם בעיות המאה הקרבה באופן הולם יותר מכפי שמתמודד עמן המפעל המדעי הנוכחי שלנו. החוזה צריך להיות מושתת על ההנחות לפיהן מדענים (א) יתמודדו עם הצרכים הדחופים ביותר של החברה, ביחס פרופורציוני לחשיבותם; (ב) יפיצו את הידע ואת ההבנה שלהם באופן נרחב, על מנת להנחות החלטות של יחידים ומוסדות, ו- (ג) יפעילו שיפוט נאות, וינהגו בתבונה ובענווה. על החוזה לזהות את היקף השליטה האנושית בפלנטה. עליו לבטא מחויבות לרתום את מלוא הכוח של המפעל המדעי לשם גילוי ידע חדש, לשם הנחלת הבנות קיימות וחדשות לציבור ולמעצבי המדיניות, ולשם סיוע בהתקדמות החברה לקראת ביוספרה מקיימת יותר.

המדע לבדו אין בכוחו להביא לקיימות רבה יותר, אך הידע והתבונה המדעיים נחוצים הם כדי להנחות את ההחלטות אשר תאפשרנה לחברה להתקדם לקראת מטרה זו. ביוספרה מקיימת היא ביוספרה חסונה מבחינה אקולוגית, ישימה מבחינה כלכלית וצודקת מבחינה חברתית. הבנה מדעית יכולה לסייע בניסוח השאלות שיש להעלות; במתן הערכות בנוגע לתנאים הנוכחיים; בהערכת ההשלכות האפשריות של ברירות שונות של מדיניות או של ניהול; באספקת ידע על העולם; ובפיתוח טכנולוגיות חדשות. החוזה ישקף את מחויבותם של מדענים יחידים ושל קבוצות מדענים לרכז את מאמציהם, כך שהללו יניבו את מירב התועלת. הכרעות מתבצעות על-ידי כל יחיד, כל קבוצת-דיון, כל סוכנות, כל ועידת קונגרס, כל אומה; על הכרעות אלה לשקף תשומת לב רבה יותר לסוגיות המכריעות ביותר של ימינו.

כיוון שהסביבה היא נושא כה רחב, נחוץ מחקר לרוחב הענפים כולם על מנת לספק את בסיס-הידע החיוני. מאמצים דומים לאלה שהוקדשו לצרכים החברתיים של העבר – למשל לחלל, רפואה והגנה – צריכים כעת להתמקד באתגרים שידוע לנו כי הם רובצים לפתחנו, ולעשות זאת בעוצמה גבוהה אף יותר. אתגרים אחרונים אלה כוללים בתוכם רבים מאלה שקדמו להם, אך מרחיבים אותם לעבר כיוונים חדשים. סדר העדיפויות שעל פיו המדע ממומן אינו יכול להיקבע בריק חברתי. על צורכי החברה בנוגע לידע מדעי להיות חלק בלתי נפרד מתהליך קבלת ההחלטות.

על החוזה להוות גם קריאה נחרצת לפיתוח גישות חדשות למחקר ולניהול. כך למשל, נחוצים מנגנונים חדשניים על מנת להקל על חקירת בעיות מורכבות ובין-תחומיות, המשתרעות על פני קני-מידה נרחבים בזמן ובמרחב; על מנת לעודד שיתוף פעולה בין

סוכנויות שונות ובין לאומים בהתמודדות עם בעיות חברתיות; ועל מנת למתוח "גשרים" אפקטיביים יותר בין מדיניות, ניהול ומדע, כמו גם בין המגזרים הציבוריים והפרטיים. כמה דוחות מן הזמן האחרון המליצו על דרכים למימושן של רבות מהמטרות הללו (50, 51).

לאמור לעיל נלווית גם הדרישה להכשיר מדענים בין-תחומיים, ולספק את הכישורים וההבנה הנדרשים לשם עבודה בממשק שבין מדיניות למדע, או בין ניהול למדע. שינויים בתוכניות הלימודים של האוניברסיטה ובמערכת התגמולים עבור מדענים מקצועיים בתוך האוניברסיטאות ומחוצה להן יקלו מאוד על השגת מטרות אלה.

על החוזה החדש להרחיב את אופקיו מעבר לפעילויות מחקר והכשרה. צרכינו הדוחקים ביותר כוללים גם פרסום של הוודאיות ואי-הוודאיות בנוגע לבעיות סביבתיות וחברתיות שונות, ושל חומרת הבעיות הללו; הצגת חלופות על מנת להתמודד עם הבעיות, וחינוך האזרחים בנוגע לסוגיות שעל הפרק. במקביל לפתיחה במחקר חדש, יש להקדיש מאמצים ניכרים להפצה טובה יותר של המידע המדעי המצוי כבר בידינו. רבות מדי מתכניות המדיניות הסביבתית שלנו, והרבה מחוכמת הרחוב בנוגע לסביבה, מבוססים על המדע של שנות ה-50, ה-60 וה-70 של המאה ה-20, ולא על המדע של שנות ה-90 של מאה זו. רוב מאמצינו להתמודדות עם בעיות כלכליות וחברתיות נותרו משוללי ידע אקולוגי מעיקרם. ניכר כי הגיעה העת לפתח את הממשקים בין הסביבה, בריאות האדם, הכלכלה, הצדק החברתי והביטחון הלאומי, ולהכניסם לזירת המדיניות. נוכח החשיבות המכרעת של נושאים סביבתיים לעתיד המין האנושי, על בוגרי מוסדות ההשכלה הגבוהה כולם להיות בעלי אוריינות סביבתית.

הערכות, הניתנות על ידי קבוצות מהימנות של מדענים, משמשות ככלים רבי-עוצמה להפצת ידע שבכוחו להנחות החלטות מדיניות וניהול. הערכות כגון [ההערכה של] קבוצת הדיון הבין-ממשלתית בנושא שינוי האקלים (16), הערכת האוזון והערכת המגוון הביולוגי (19), סיפקו הדרכה מצוינת למעצבי מדיניות, במיוחד כאשר הן סיכמו וודאיות ואי-וודאיות, ותיארו את התוצאות האפשריות של ברירות שונות.

מערכת המדע, החברה והטבע כולה מתפתחת ומשתנה מיסודה, באופן הגורם לנו לחשוב מחדש על הדרך בה המדע נערך כדי לסייע לאנשים להתמודד עם עולם משתנה. על מדענים להוביל את השיח על סדרי עדיפויות מדעיים, הסדרים מוסדיים חדשים, ומנגנונים משופרים לשם הפצה וניצול מהירים יותר של ידע.

על המדעים כולם להירתם ולהיענות למלא טווח האתגרים שלפנינו. הגיעה העת שהקהילה המדעית תיקח אחריות על התרומות שיש לגייס בכדי להתמודד עם הבעיות הסביבתיות והחברתיות שלפנינו – בעיות אשר, על אף שכוונותינו היו הטובות שבעולם,

סייענו ביצירתן. הגיעה העת לבחון מחדש את סדרי היום ואת הגדרתן של "הבעיות הגדולות" בענפים מדעיים מרובים.

איננו יכולים עוד להרשות לעצמנו להעניק לסביבה מעמד שולי בסדר היום שלנו. הסביבה אינה סוגיה שולית, זוהי ה-סוגיה של העתיד, והעתיד כאן כבר עכשיו. בשם הוועד המנהל של ה-AAAS, אני מזמינה אתכם להשתתף במלוא המרץ בחקר יחסי הגומלין בין מדע וחברה, ובשקילת חוזה חברתי חדש עבור המדע, על סף המאה של הסביבה.

ביל ווטסון תמצת אתגר זה באופן רהוט למדיי בדיאלוג הבא, של הדמויות המצוירות קלווין והובס (52):

קלווין והובס רוכבים בעגלתם האדומה דרך היערות, מתנודדים מצד אל צד:

קלווין: "זה נכון, הובס, בורות היא אכן ברכה!

מרגע שאתה יודע דברים, אתה מתחיל לראות בעיות מכל עבר...

ומרגע שאתה רואה בעיות, אתה חש שאתה חייב לנסות לפתור אותן...

... ונראה שפתרון בעיות מצריך תמיד שינוי אישי...

... ושינוי משמעו לעשות דברים שאינם כיף!

אני אומר לך 'פרי'!"

בעודם נעים במורד הגבעה, הם מתחילים לצבור תאוצה.

קלווין (מביט לאחור אל הובס): "אך אם אתה טיפש מרצון, אינך יודע מאומה, כך

שאתה יכול להמשיך לעשות ככל העולה ברוחך!

סוד האושר הוא אינטרס-עצמי מטופש וקצר-טווח!"

הובס (נראה מודאג): "אנו נעים לעבר הצוק הזה!"

קלווין (ידיו מכסות את עיניו): "אני לא רוצה לדעת על זה".

הם עפים מן הצוק.

"ואאאאאאאאאא!"

אחרי נחיתת-ריסוק,

הובס: "אני לא בטוח שאני יכול לשאת כל כך הרבה ברכה".

קלווין: "זהירות! אנחנו לא רוצים ללמוד מזה שום דבר".

הפניות והערות:

1. V. Bush, *Science-The Endless Frontier* (40th Anniversary Edition, NSF, Washington, DC, 1990).
2. Committee on Science, Engineering, and Public Policy, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, *Science, Technology, and the Federal Government: National Goals for a New Era* (National Academy Press, Washington, DC, 1993); W. J. Clinton and A. Gore Jr., *Science in the National Interest* [Executive Office of the President, Office of Science and Technology Policy (OSTP), Washington, DC, 1994]; National Science and Technology Council, OSTP, *Technology for a Sustainable Future: A Framework for Action* [U.S. Government Printing Office (GPO), Washington, DC, 1994]; Committee on Criteria for Federal Support of Research and Development, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, National Research Council, *Allocating Federal Funds for Science and Technology* (National Academy Press, Washington, DC, 1995); National Science and Technology Council (NSTC), Committee on Environment and Natural Resources, *Preparing for the Future Through Science and Technology: An Agenda for Environmental and Natural Resource Research* (NSTC, Washington, DC, 1995); Council on Competitiveness, *Endless Frontier, Limited Resources: U.S. R&D Policy for Competitiveness* (Council on Competitiveness, Washington, DC, 1996); National Science and Technology Council, OSTP, *Accomplishments of the National Science and Technology Council* (GPO, Washington, DC, 1996); Carnegie Commission on Science, Technology, and Government (CCSTG), *Federal Environmental Research and Development: Status Report with Recommendations* (CCSTG, New York, 1997); Energy Research and Development Panel (ERDP), President's Committee of Advisors on Science and Technology, *Federal Energy Research and Development for the Challenges of the Twenty-first Century* (ERDP, Washington, DC, 1997); Executive Office of the President, OSTP, *Science and Technology Shaping the Twenty-first Century* (OSTP, Washington, DC, 1997); J. H. Gibbons, *This Gifted Age: Science and Technology at the Millennium* (Springer-Verlag, New York, 1997); National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, National Research Council, "Preparing for the 21st Century," Rep. Ser. Nos. 1-6 (National Academy Press, Washington, DC, 1997); P. M. Smith and M. McGeary, *Issues in Science and Technology*, p. 33 (Spring 1997); A. H. Teich, S. D. Nelson, C. McEnaney, Eds., *AAAS Science and Technology Policy Yearbook 1996-97* (American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 1997).
3. S. Jasanoff, et al., *Science* 278, 2066 (1997)
כתובת האינטרנט של הדיון האלקטרוני ביוזמת הוועד המנהל של ה-AAAS היא www.sciencemag.org/feature/data/aaasforum.shl.
4. P. M. Vitousek, H. A. Mooney, J. Lubchenco, J. M. Melillo, *ibid.* 277, 494 (1997).
5. L. W. Botsford, J. C. Castilla, C. H. Peterson, *ibid.*, p. 509; J. B. Hughes, G. C. Daily, P. R. Ehrlich, *ibid.* 278, 689 (1997); P. A. Matson, W. J. Parton, A. G. Power, M. J. Swift, *ibid.* 277, 504 (1997).
6. F. S. Chapin III et al., *ibid.* 277, 500 (1997).
7. P. M. Vitousek, P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich, P. A. Matson, *Bioscience* 36, 368 (1986); R. W. Kates, B. L. Turner, W. C. Clark, in *The Earth as Transformed by Human Action*,

- B. L. Turner II *et al.*, Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990), pp. 1-17; G. C. Daily, *Science* 269, 350 (1995).
8. D. S. Schimel *et al.*, in *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change*, J. T. Houghton *et al.*, Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1995), pp. 39-71.
9. P. M. Vitousek *et al.*, *Ecol. Appl.* 7, 737 (1997); J. N. Galloway, W. H. Schlesinger, H. Levy II, A. Michaels, J. L. Schnoor, *Global Biogeochem. Cycles* 9, 235 (1995).
10. S. L. Postel, G. C. Daily, P. R. Ehrlich, *Science* 271, 785 (1996).
11. S. L. Olson, in *Conservation for the Twenty-First Century*, D. Western and M. C. Pearl, Eds. (Oxford Univ. Press, Oxford, 1989), p. 50; D. W. Steadman, *Science* 267, 1123 (1995).
12. Food and Agricultural Organization (FAO), *FAO Fish. Tech. Pap.* 335 (1994).
13. S. Postel, *Defusing the Toxics Threat: Controlling Pesticides and Industrial Waste* (Worldwatch Institute, Washington, DC, 1987).
14. United Nations Environment Programme (UNEP), *Saving Our Planet--Challenges and Hopes* (UNEP, Nairobi, Kenya, 1992).
15. R. S. White, S. Jobling, S. A. Hoare, J. P. Sumpter, M. G. Parker, *Endocrinology* 185, 175 (1994); W. R. Kelce, *et al.*, *Nature* 375, 581 (1995); J. A. McLachlan and S. F. Arnold, *Am. Sci.* 84, 452 (1996); J. Toppari *et al.*, *Environ. Health Perspect.* 104 (suppl. 4), 741 (1996); P. M. Vonier, D. A. Crain, J. A. McLachlan, L. J. Guillette Jr., S. F. Arnold, *ibid.* (no. 12), p. 1318; F. vom Saal *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 94, 2056 (1997).
16. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 1995* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1996), pp. 9-49.
17. F. S. Rowland, *Am. Sci.* 77, 36 (1989); S. Solomon, *Nature* 347, 347 (1990).
18. J. H. Lawton and R. M. May, Eds., *Extinction Rates* (Oxford Univ. Press, Oxford, 1995); S. L. Pimm, G. J. Russell, J. L. Gittleman, T. M. Brooks, *Science* 269, 347 (1995).
19. UNEP, *Global Biodiversity Assessment*, V. H. Heywood, Ed. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1995).
20. E.D. Schulze and H. A. Mooney, Eds., *Biodiversity and Ecosystem Function* (Springer, New York, 1994); H. A. Mooney, J. Lubchenco, R. Dirzo, O. E. Sala, Eds., section 5, in (19), pp. 278-325; section 6, in (19), pp. 328-452; H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, E.D. Schulze, Eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective* (Wiley, New York, 1996).
21. J. Lubchenco, *et al.*, *Ecology* 72, 371 (1991).
22. P. Kennedy, *Preparing for the Twenty-First Century* (Random House, New York, 1993); J. A. McNeely, *Conservation and the Future: Trends and Options Toward the Year 2025* (IUCN, The World Conservation Union Biodiversity Policy Coordination Division, Gland, Switzerland, 1997).
23. K. Arrow, *et al.*, *Science* 268, 520 (1995).
24. G. Daily, Ed., *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (Island Press, Washington, DC, 1997).
25. N. Myers, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 93, 2764 (1996); Y. Baskin, *The Work of Nature: How the Diversity of Life Sustains Us* (Island Press, Washington, DC, 1997).
26. R. Costanza, *et al.*, *Nature* 387, 253 (1997).
27. G. Chichilnisky and G. Heal, *ibid.*, in press.
28. G. C. Daily *et al.*, *Issues Ecol.* 2 (1997).

29. J. Lederberg, R. E. Shope, S. C. Oaks Jr., Eds., *Emerging Infections: Microbial Threats to Health in the United States* (National Academy Press, Washington, DC, 1992).
30. R. M. Anderson and R. M. May, *Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control* (Oxford Univ. Press, Oxford, 1991); A. P. Dobson and E. R. Carper, *Bioscience* 46, 115 (1996).
31. L. A. Real, *Bioscience* 46, 88 (1996).
32. A. Cruz-Marques, *Parasitol. Today* 3, 166 (1987); C. E. A. Coimbra, *Human Organ.* 47, 254 (1988); D. R. Sawyer, "Malaria and the Environment," *Working Paper No. 13* (Institute Sociedade, Populacas, e Natureza, Brasilia, 1992).
33. A. J. McMichael, A. Haines, R. Slooff, S. Kovats, Eds., *Climate Change and Human Health* (World Health Organization, Geneva, 1996).
34. P. M. Vitousek et al., *Issues Ecol.* 1 (1997).
35. G. M. Hallegraeff, *Phycologia* 32, 79 (1993); "ECOHAB: The Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms: A National Research Agenda," Report from NSF- and National Oceanic and Atmospheric Administration-sponsored workshop, D. M. Anderson, Chair (Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, 1995).
36. J. M. Burkholder, E. J. Noga, C. H. Hobbs, H. B. Glasgow Jr., *Nature* 358, 407 (1992); J. M. Burkholder, H. B. Glasgow Jr., C. H. Hobbs, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124, 43 (1995); P. R. Epstein, *Am. J. Public Health* 85, 168 (1995); J. A. Patz, P. R. Epstein, T. A. Burke, J. M. Balbus, *J. Am. Med. Assoc.* 275, 217 (1996).
37. President's Council on Sustainable Development, *Sustainable America: A New Consensus for Prosperity, Opportunity, and a Healthy Environment for the Future* (GPO, Washington, DC, 1996).
38. S. Schmidheiny, with the Business Council for Sustainable Development, *Changing Course: A Global Business Perspective on Development and the Environment* (MIT Press, Cambridge, MA, 1992); P. Hawken, *The Ecology of Commerce: A Declaration of Sustainability* (Harper Business, New York, 1993); S. Schmidheiny and F. J. L. Zorraquin, with the World Business Council for Sustainable Development, *Financing Change: The Financial Community, Eco-Efficiency, and Sustainable Development* (MIT Press, Cambridge, MA, 1996).
39. UNEP, "UNEP statement of environmental commitment by the insurance industry" (UNEP, Geneva, 1996); "UNEP insurance initiative position paper on climate change" (UNEP, Geneva, 9 July 1996).
40. G. Daily, personal communication.
41. World Commission on Environment and Development, *Our Common Future* (Oxford Univ. Press, New York, 1987); "Earth Summit Agenda 21: The United Nations Programme of Action from Rio," U.N. Conference on Environment and Development, 3 to 14 June 1992, Rio de Janeiro, Brazil (United Nations, New York, 1992); *Global Change and the Human Prospect: Issues in Population, Science, Technology and Equity* (Sigma Xi, Research Triangle Park, NC, 1992).
42. J. T. Mathews, *Foreign Affairs* 68, 162 (1989); T. F. Homer-Dixon, *Int. Security* 16, 76 (1991); J. T. Mathews, "Nations and Nature: A New Look at Global Security," Twenty-First J. Robert Oppenheimer Memorial Lecture, Los Alamos, NM, 12 August 1991; N. Myers, *Ultimate Security: The Environmental Basis of Political Stability* (Norton, New York, 1993); T. F. Homer-Dixon, *Int. Security* 19, 5 (1994); R. D. Kaplan, *Atlantic Monthly* (Feb. 1994), p. 44; T. F. Homer-Dixon, Environmental Change and Security Project Report 2, 45 (1996); P. J. Simmons, *Environ. Change Security Proj. Rep.* 3, 1 (1997).

43. T. Homer-Dixon and V. Percival, *Environmental Scarcity and Violent Conflict: Briefing Book* (Project on Environmental Population and Security, AAAS, Washington, DC, 1996).
44. W. Christopher, "American Diplomacy and the Global Environmental Challenges of the 21st Century," address at Stanford University, 9 April 1996, reprinted in *Environ. Change Security Proj. Rep.* 2, 81 (1996).
45. U.S. Department of State, "Environmental Diplomacy: The Environment and U.S. Foreign Policy" (Department of State Pub. 10470, Washington, DC, 1997).
46. J. Pastor, personal communication.
47. J. F. Kennedy, address at the Anniversary Convocation of the National Academy of Sciences (22 October 1963).
48. E. Bloch, foreword in (1), pp. v-vi.
49. National Science Board, "Government Funding of Scientific Research," *Working Paper NSB-97-186* (1997).
50. Carnegie Commission on Science, Technology, and Government, *Environmental Research and Development: Strengthening the Federal Infrastructure* (CCSTG, New York, 1992); *International Environmental Research and Assessment: Proposals for Better Organization and Decision Making* (CCSTG, New York, 1992); J. C. I. Dooge et al., Eds., *An Agenda of Science for Environment and Development into the 21st Century* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1992); National Commission on the Environment, *Choosing a Sustainable Future* (Island Press, Washington, DC, 1993); H. W. Kendall et al., "Meeting the Challenges of Population, Environment and Resources: The Costs of Inaction. A Report of the Senior Scientists' Panels," *Environmentally Sustainable Development Proceedings Ser. 14* (World Bank, Washington, DC, 1995); R. J. Naiman, J. J. Magnuson, D. M. McKnight, J. A. Stanford, Eds., *The Freshwater Imperative: A Research Agenda* (Island Press, Washington, DC, 1995).
51. Committee on Environmental Research, Commission on Life Sciences, National Research Council, *Research to Protect, Restore, and Manage the Environment* (National Academy Press, Washington, DC, 1993).
52. B. Watterson, *Calvin and Hobbes*, 17 May 1992, distributed by Universal Press Syndicate.
53. I thank B. Menge, M. Derr, the AAAS staff (especially R. Nicholson and G. Seiler), and the editors of *Science* for their assistance. I am grateful to S. Arnold, S. Carpenter, T. Chapin, G. Daily, J. Diamond, R. Dirzo, D. Epel, P. Farber, V. Plocq Fichelet, J. Gibbons, B. Goldberg, M. Green, M. Hixon, T. Janetos, S. Jasanoff, B. Johannes, E. Kelley, H. Kendall, C. King, J. Lash, G. Likens, M. Linn, O. Loucks, M. Mangel, J. Maienschein, T. Malone, B. McKay, B. Miller, H. Mooney, W. Murdoch, J. P. Myers, R. Naiman, R. Naylor, R. Noss, G. Omenn, B. Paine, J. Pastor, A. Peterson, S. Pimm, S. Postel, W. Reid, P. Risser, C. Safina, E. Sanford, D. Simberloff, B. Singer, V. Spruill, K. Shine, C. Stimpson, D. Suzuki, D. Tilman, P. Vitousek, D. Wilcove, and D. Zare for constructive comments on early drafts of this paper and to the Andrew W. Mellon Foundation, the John D. and Catherine T. MacArthur Foundation, the Pew Charitable Trusts, and NSF for funding support.

