

המסגרת הרעיונית – הפרק המלא

מחברים מובילים: דניאל אורנשטיין ועדו יצחקי

מחברים שותפים: ולרי ברכיה, אלון לוטן, מאיה נגב, אוריאל ספריאל, עליזה פליישר וקרן קלס

תוכן עניינים

1.	הקדמה	2
2.	מונחון	2
3.	מודל המסגרת הרעיונית	4
4.	המערכות האקולוגיות - תהליכים אקולוגיים, יציבות וקיימות	7
5.	שירותי המערכת האקולוגית ותועלותיהם	8
6.	שירותי מערכת פוטנציאליים	9
7.	המגוון הביולוגי ומעורבותו באספקת שירותי המערכות האקולוגיות	12
7.1	מהו המגוון הביולוגי?	12
7.2	כיצד מתפקד המגוון הביולוגי באספקת שירותי המערכת?	13
8.	תועלות השירותים	18
9.	קיום האדם ורווחתו	18
9.2	תועלות התורמות לרכיב הבריאותי של קיום האדם ורווחתו	21
9.3	תועלות התורמות לרכיב החברתי של קיום האדם ורווחתו	21
10.	גורמים מחוללי שינוי	22
11.	אפשרויות תגובה לשינויים במערכות האקולוגיות	22
12.	המערכות האקולוגיות של ישראל	23
12.1	אמות מידה לתיחומן של המערכות האקולוגיות	23
12.2	מיקום שש מערכות העל של ישראל	24
12.3	ממדיהן ותכונותיהן של מערכות-העל	25
13.	תלותה של ישראל במערכות אקולוגיות שמחוץ לגבולותיה	29
14.	ספרות	30

גילוי נאות: מסמך זה הוכן במסגרת פרויקט מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית, בתמיכה והנחייה של צוות ניהול הפרויקט. עם זאת, האחריות לתוכן המסמך היא של המחברים המובילים בלבד. הנתונים וניתוחם בפרק זה עדכניים נכון לשנת 2018.

ציטוט מומלץ: אורנשטיין, ד' ויצחקי, ע' (עורכים). (2018). המסגרת הרעיונית – הפרק המלא.

1. הקדמה

בפרק זה, הפרק השני של הדו"ח המלא של פרויקט 'מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית', מוצג הגלעין הרעיוני עליו מבוסס הפרויקט כולו. הפרק מספק הגדרות למושגי יסוד, סוקר את תכני הדו"ח ומהווה מפת דרכים שמשרתת את הקוראים והמשתמשים של דו"ח זה. בדומה להערכות שבוצעו ודווחו מאז פרסום "הערכת המילניום של מערכות אקולוגיות" (להלן "הערכת המילניום", Reid et al., 2005), שהנגיש את המסגרת הרעיונית של פרויקטי הערכה לראשונה, גם הדו"ח הנוכחי מתבסס על הערכת המילניום וכמו כן על דו"חות עדכניים, ובעיקר דו"ח 'ההערכה הלאומית של מערכות האקולוגיות של הממלכה המאוחדת' (להלן "הערכת הממלכה המאוחדת"; UK-NEA, 2011). הפרק משקף תוצאות דיונים של המעורבים בפרויקט לגבי הגדרת המושגים, תהליך העבודה, וההתאמות הנדרשות לביצוע ההערכה של המערכות האקולוגיות של ישראל. בבסיס הפרק עומד המונחון (טבלה 1) המגדיר את מושגי היסוד הנחוצים לבניית המסגרת הרעיונית (איור 1), להבנת רכיביה, ולקריאת הדו"ח כולו.

2. מונחון

מדע שירותי המערכות האקולוגיות והפורמט של תהליך ההערכה של אספקת שרותיהן ושל המגוון הביולוגי שבבסיסם צעירים אך מתפתחים במהירות, וכך גם הגדרות המושגים שבשימוש פרויקטי ההערכה מתעדכנות עם הזמן (de Groot et al., 2010; UK-NEA, 2011; Haines-Young & Potschin, 2013). במסמך זה אומצו רבות מההגדרות שנכללו בדו"ח 'הערכת המילניום' ובזה של 'הערכת הממלכה המאוחדת' ובמקורות אחרים, אך תרגום שמם האנגלי של מספר מונחים לעברית שונה מתרגומם המילולי המקובל (למשל, 'good' בדו"ח הערכת הממלכה המאוחדת שהוא 'טובין' בעברית תורגם במונחון ל'תועלת').

טבלה 1: המינוח העברי בשימוש פרויקט מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית (עיבוד וסינתזה של מונחים ממקורות שונים כולל, Convention on Biological Diversity, 1992; de Groot, 1992; de Groot et al., 2002; Raven & Berg, 2004; Reid et al., 2005; UK-NEA, 2011; Haines-Young & Potschin, 2013; TEEB, 2013).

הרב-גוניות של היצורים החיים (בעלי חיים, צמחים, פטריות ויצורים מיקרוסקופיים) במערכת אקולוגית או באתר מוגדר כלשהו. בשימוש הרחב מכליל המונח את עושר החיים על פני כדור הארץ, כולל המגוון הגנטי, מגוון המינים ומגוון הנופים והמערכות האקולוגיות.	Biodiversity	מגוון ביולוגי
אזור שיש בו מגוון של יצורים חיים (מגוון ביולוגי) המקיימים תהליכים אקולוגיים בינם לבין עצמם ועם סביבתם הפיזית והכימית. התהליך האקולוגי של הייצור הראשוני הוא הבסיס לתפקודו של האזור כמערכת אקולוגית.	Ecosystem	מערכת אקולוגית
יחסי הגומלין שבין יצורים חיים (רכיבים של המגוון הביולוגי), ובינם לבין תשתיות פיזיות וגורמי אקלים במערכות האקולוגיות.	Ecosystem processes	תהליכים אקולוגיים
הייצור של תרכובות אורגניות מתוך פחמן דו-חמצני אי-אורגני שמקורו באטמוספירה או בים, בעיקר על ידי תהליך הקיבוע של הפוטוסינתזה (ניצול אור שמש על ידי צמחים).	Primary production	ייצור ראשוני
תהליכים ורכיבים במערכות האקולוגיות שמופקת מהם תועלת לקיום האדם ולרווחתו.	Ecosystem services	שירותי המערכת האקולוגית
תהליכים ורכיבים במערכת האקולוגית שאין בהם שימוש עכשווי, אך הם עשויים לתפקד כשירותים בפועל כתוצאה משינויים סביבתיים וחברתיים.	Potential ecosystem services	שירותי המערכת האקולוגית הפוטנציאליים
תהליכים (או שירותים) בסיסיים המאפשרים למערכת האקולוגית להתקיים וכך תומכים באספקתם של כלל השירותים. בין היתר, נכללים בהם יצרנות ראשונית, מחזור חומרי הזנה ומחזור המים בטבע.	Supporting ecosystem processes/Supporting services	תהליכים אקולוגיים תומכים/שירותי תמיכה
תהליכים במערכות האקולוגיות התורמים ליצירת תנאי סביבה שהכרחיים או נוחים יותר עבור האדם, כמו ויסות כמות המים ואיכותם, מיתון תנאי אקלים קיצוניים ושיטפונות, האבקה של גידולים חקלאיים והקטנה בסחיפת הקרקע.	Regulating services	שירותי ויסות
תהליכים ורכיבים במערכת האקולוגית המספקים מוצרים שהאדם צורך, וחלק מהם הכרחיים לקיומו. מוצרים המתקבלים משירותי האספקה כוללים מזון, מי שתייה וחומרי גלם טבעיים.	Provisioning services	שירותי אספקה
תרומתם של תהליכים ורכיבים במערכות האקולוגיות (בהגדרה רחבה – הכוללת מגוון ביולוגי ונוף) להעשרת חייהם של בני אדם. התועלות משירותי התרבות יכולות להיות פיזיות, כמו נופש, תיירות וספורט; אינטלקטואליות, כמו חינוך ומחקר מדעי; או סמליות, כמו אומנות ודת.	Cultural services	שירותי תרבות
ראו תהליכים אקולוגיים תומכים/שירותי תמיכה.	Supporting services	שירותי תמיכה

תועלות	Benefits, Goods	האופנים החומריים והלא-חומריים ששירותי המערכת האקולוגית תורמים בהם לקיום האדם ולרווחתו.
ערך	Value	מידת התועלת המסופקת לבני האדם על ידי המערכות האקולוגיות, שמבטאת במונחים כספיים, פיזיים-בריאותיים או איכותיים-סובייקטיביים.
גורמים מחוללי שינוי	Drivers of change	גורמים טבעיים או מעשה ידי-אדם שמביאים לשינוי במערכת אקולוגית (בתשתיות הפיזיות או במגוון הביולוגי) ולכן גם באספקת שירותיה. גורמי מדיניות, חברה וכלכלה הם גורמים מחוללי שינוי עקיפים שפועלים ומשפיעים על גורמים מחוללי שינוי ישירים (ביו-פיזיים) המביאים את השינויים.
רווחת האדם	Human Well-being	זמינות המרכיבים והתפקודים הנדרשים לסיפוק צרכים אנושיים שונים והיכולת לפעול להגשמת מטרות אישיות, לשגשג ולחוש סיפוק מחוויות החיים. דוגמאות למרכיבים: מזון, מחסה וביגוד, פרנסה, גישה בטוחה למשאבים טבעיים, בריאות פיזית ונפשית. במסגרת הפרויקט אנחנו מתייחסים להיבטים הכלכליים, הבריאותיים והחברתיים של רווחת האדם.

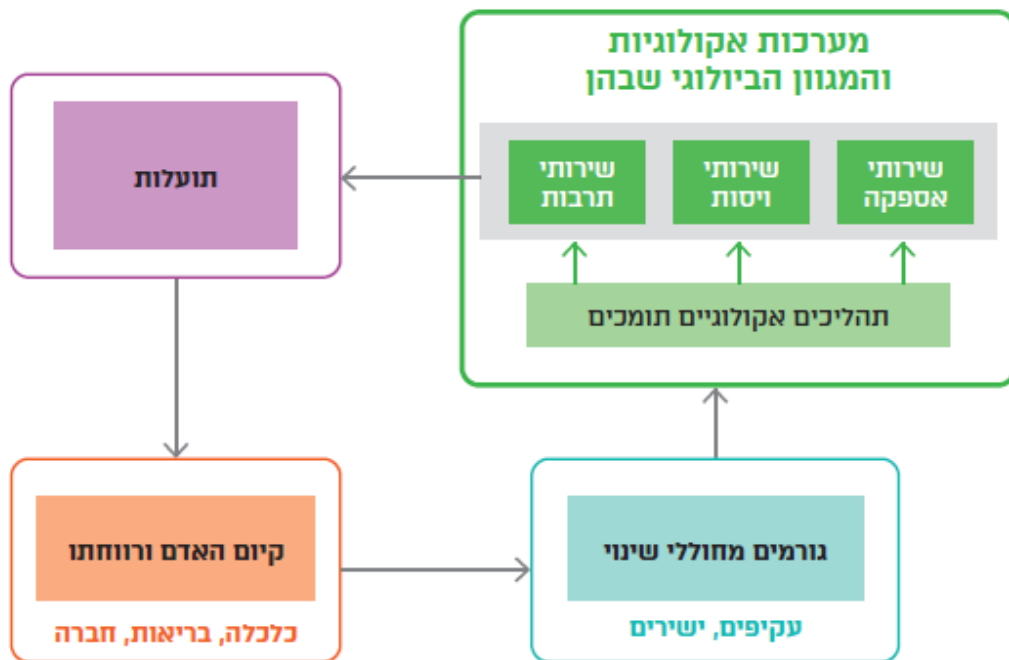
3. מודל המסגרת הרעיונית

הערכת המערכות האקולוגיות של ישראל מציגה את הידע הקיים על תועלות האדם מהטבע ועל מעורבות המגוון הביולוגי של המערכות האקולוגיות של ישראל בהפקת תועלות אלה, ובכך להביא למודעות חשיבותו של הטבע לאדם בישראל ומכאן להבנת הצורך בשמירתו. כמו בפרויקטים דומים ברחבי העולם, הונחה עבודת הפרויקט הישראלי על ידי מסגרת רעיונית מובנית, המוצגת באמצעות מודל גרפי (איור 1). בבסיסו של מודל זה נמצאות המערכות האקולוגיות, הכוללות תשתית פיזית (שטחי קרקע או גופי מים) שעליה או בתוכה מתקיימים מכלול של יצורים חיים שהם המגוון הביולוגי של מערכות אלה (המלבן הירוק בתחתית איור 1). מגוון זה של יצורים חיים ממינים שונים נמצא בדינמיקה מתמדת של יחסי גומלין בין היצורים השונים עצמם וביניהם לבין התשתיות הפיזיות וסביבתם. דינמיקה זו מתבטאת בתהליכים הקרויים **תהליכים אקולוגיים** (מלבן כהה מקונן במלבן הירוק בתחתית איור 1). רבים מתהליכים אלה מייצרים תועלות לאדם ולכן קרויים שירותים, **שירותי המערכת האקולוגית** (או בקיצור "שירותי מערכת", מלבן בהיר מקונן במלבן הכהה, איור 1). בין תהליכים אקולוגיים אלה ישנה קבוצה של תהליכים בסיסיים התומכים בכל התהליכים האקולוגיים האחרים, ולכן קרויים **תהליכים אקולוגיים תומכים** (לעיתים נקראים "שירותי תמיכה").

התהליכים האקולוגיים התומכים כוללים בין היתר: (1) **ייצור ראשוני** (primary production), ניצול אנרגיית השמש להמרה של חומרי גלם אי-אורגניים (פחמן דו-חמצני, מים) לתרכובות אורגניות המרכיבות את רקמות הצמחים, ואת אלו של הניזונים מהצמחים במעלה מארג המזון; (2) **מיחזור חומרי הזנה** (נטרריינטים) (nutrient cycling), התהליך באמצעותו חומרי הגלם נלכדים על ידי הצמחים מהסביבה ומותרים לחומרים אורגניים, נפלטים מהיצורים החיים במהלך חייהם ולאחר מותם, ולאחר מכן נלכדים מחדש; (3) **פירוק** (decomposition), אחד משלבי התהליך מיחזור חומרי הזנה בו החומר האורגני שמקורו בגופות יצורים מתים, כולל נשורת הצמחייה, מפורק לרכיביו הבסיסיים (מינרליזציה) בדמות חומרי הזנה, וכל זאת באמצעות חיידקים ופטטריות (תיבה 1).

מתוך המערכת האקולוגית זורמות לפיכך תועלות לאדם (המלבן הכחול באיור 1) וזאת באמצעות אותם התהליכים האקולוגיים הקרויים **שירותים**. התועלות תורמות משמעותית לקיומו ורווחתו של האדם בהיבטים שונים, ובעיקר כלכליים, בריאותיים וחברתיים (המלבן הכתום באיור 1). מלבד קבוצת התהליכים התומכים, סיווג הערכת המילניום את המכלול המגוון של השירותים לשלוש קבוצות של שירותי המערכת האקולוגית – **שירותי אספקה, שירותי ויסות ושירותי תרבות**. ארבע קבוצות אלה מיוצגות בצד שמאל של איור 1 עם חצים המצביעים על היחסים ביניהם.

איור 1: המסגרת הרעיונית של פרויקט מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית: תרומת המערכות האקולוגיות לקיום האדם ורווחתו. (בדוח ממצאי המפתח ובסינתזה מופיע איור מצומצם יותר).



המערכות האקולוגיות ואספקת שרותיהן עוברים שינויים שהמקור הבסיסי העיקרי של רובם הוא שינויים במדיניות, במשילות, בכלכלה ובחברה, שבעקבותיהם מחוללים בני האדם שינויים בתשתיות ובמגוון הביולוגי של מערכות אקולוגיות. שינויים אלה נעשים לעיתים במודע, כמו התמרה של מערכת אקולוגית טבעית למערכת חקלאית במטרה להגביר את אספקתם של שירותים מסוימים, מה שמביא לצמצום אספקתם של שירותים אחרים. בדוגמא זו מתקיימת בעיקר המרה של שירותי ויסות המתבצעים על ידי המערכת הטבעית, בשירותי אספקה המופקים מהמערכת החקלאית שהחליפה את המערכת הטבעית (פרק 9). יש ששינויים כאלה נעשים שלא במתכוון, וגם אלה מביאים להתמרת מערכות ולהמרת שירותים. פעילויות אלה קרויות **גורמים מחוללי שינוי** (הרבע הסגול באיור 1). גורמים כגון שינוי האקלים הגלובלי, זיהום כימי, דיג-יתר או רעיית-יתר משפיעים על התשתיות ועל המגוון הביולוגי באופן ישיר ולכן מכונים **גורמים ישירים**. לעומתם, גורמים כלכליים, חברתיים, גורמי משילות וגורמים מדיניים מפעילים את הגורמים הישירים, ולכן קרויים **גורמים עקיפים**. בנוסף, המערכות האקולוגיות נתונות גם לשינויים סביבתיים חיצוניים שאינם מעשה ידי אדם, הן שינוי במערך האקלימי המחזורי והן שינויים לא סדירים (למשל, תופעת ה-א'אל ניניו', שיטפונות ושרפות יער), התורמים אף הם לדינמיות במצבן של המערכות האקולוגיות על המגוון הביולוגי שלהן והתהליכים האקולוגיים המתרחשים בהן.

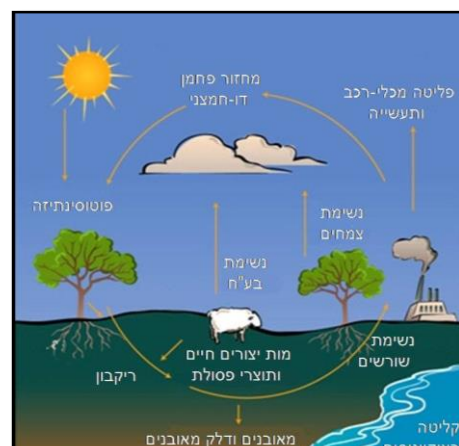
חשוב לציין, כי מלבד המערכות האקולוגיות ישנם גורמים נוספים שגם להם תרומה לרווחת האדם, כמו למשל תרומת משאבי טבע שאינם מתחדשים ושאינם מסופקים באמצעות תהליכים אקולוגיים עכשוויים, כגון נפט ומחצבים בלתי-מתחדשים אחרים. משאבים בלתי מתחדשים אלה אינם נכללים במסגרת פרויקט זה גם אם הם מופקים מאזורים המתפקדים כמערכות אקולוגיות.

מודל המסגרת הרעיונית הוא מודל דינמי המתאר מערכת משוב הדדי של המערכות האקולוגיות ומערכות האדם (Collins et al., 2011; UK-NEA, 2011; Maes et al., 2012). מערכת משוב זו מבוססת על יחסי הגומלין שבין האדם לטבע - האדם גורם לשינויים במערכות האקולוגיות וגם מגיב לאותות המתקבלים מהמערכות האקולוגיות כפי שהם מתבטאים בשינוי בממדי אספקת השירותים ותועלתיהם לאדם. **תגובות** האדם לשינויים אלה משפיעות על המבנה ולכן גם על התפקוד של המערכות האקולוגיות על השירותים שהן מספקות, וחוזר חלילה (מערכת החיצים של איור 1).

למודל המסגרת הרעיונית המתואר באיור 1 צמוד גם ממד נוסף שאינו מופיע בציור, והוא ממד קנה המידה של אספקת שירותים בזמן ובמרחב – תועלתיו של שירות המסופק על ידי המערכת בזמן נתון יכולה להתקבל בפיגור של זמן (קנה מידה בזמן), ושירות המופק במערכת שבאתר מסוים, עשוי להביא תועלת לאדם הנמצא באתר אחר. כלומר, אספקת השירות עשויה לחצות גבולות, בקני המידה של זמן ומרחב.

תיבה 1 - דוגמה לתהליכים אקולוגיים תומכים: מחזור חומרי הזנה (נוטריינטים)

מחזור חומרי הזנה (nutrient cycling) הוא התהליך בו עוברים חומרים מזיני-צמחים (נוטריינטים) מהסביבה הפיסית לאורגניזמים חיים ושוב מוחזרים לסביבה הפיסית. לדוגמה, המאגר הגלובלי העיקרי של הפחמן שהוא הרכיב המרכזי בכל מולקולה בגופו של כל יצור נמצא כגז (פחמן דו-חמצני) באטמוספירה וכגז מומס במי האוקיינוסים. באמצעות תהליך הפוטוסינתזה נלכד הפחמן הגזי על ידי הצמחים ההופכים אותו לפחמן אורגני בגופם. הצמחים נאכלים על ידי יצורים שבעצמם עשויים להיטרף על ידי יצורים אחרים. כך עובר הפחמן מיצור אחד למשנהו. כל היצורים הללו "שורפים" את הפחמן האורגני המשמש כדלק לפעילותם, נושמים ופולטים פחמן דו-חמצני בחזרה כגז לאטמוספירה. כמו כן, כל חומר אורגני מת (מן החי והצומח) מפורק על ידי חיידקים ופטריית שפולטים את הפחמן הדו-חמצני כגז. גם האדם תורם לפליטה של פחמן דו-חמצני כתוצאה משרפת דלקים בתחנות כח לייצור חשמל, בתעשייה ובתחבורה. תנועה מעגלית זו של פחמן או כל חומר מזין אחר (כגון חנקן וזרחן) חיונית לתפקודה התקין של כל מערכת אקולוגית ביבשה ובמים.



סקימה של מחזור הפחמן.
מקור: [אתר האינטרנט של מכון דוידסון](#)

4. המערכות האקולוגיות - תהליכים אקולוגיים, יציבות וקיימות

כל שטח או אזור שבו חיים ומתקיימים צמחים כלשהם ויצורים אחרים (בעיקר זעירים) המפרקים, ובכך ממחזרים, את החומר האורגני שבחלקי הצמח שנשרו לחומרי הזנה (נוטריינטים), מתפקד כמערכת אקולוגית, בין אם מדובר בשטח קרקע טבעי, חקלאי, או במקווה מים כאגם או כים. יחסי הגומלין שבין היצורים הללו (למשל, בין מיני הצמחים שעל פני הקרקע ובין היצורים הזעירים שבקרקע), ובין כל אלה לבין התשתית הפיזית של המערכת האקולוגית המתחזקת אותם (קרקע ומסלע במערכות יבשתיות, ובמערכות המימיות גם גוף המים עצמו), וגם ביניהם לבין האטמוספירה שמעליהם, מאפשרים את רתימת אנרגיית השמש להנעת התהליך האקולוגי הבסיסי של כל המערכות האקולוגיות - ייצור גופו של הצמח ותחזוקתו, תהליך המכונה הייצור הראשוני. תהליך אקולוגי זה הוא אפוא מקור המזון המקיים את כל שאר היצורים עלי אדמות, ומאפשר את מעורבותם באספקת שירותי המערכת. המערכות האקולוגיות מתפקדות למעשה כהון הטבעי ממנו מופקים השירותים על מגוון תועלותיהם. זאת בנוסף לתועלות המופקות מההון האנושי, החברתי, המיוצר (manufactured), והפיננסי, התורמים כולם לרווחת האדם וקיומו (Porritt, 2007).

מכלול המערכות האקולוגיות, המכסה את כל שטחו של כדור הארץ מהווה את ה**ביוספֶרָה**, כינוי למעטה כדור הארץ – היבשות, האוקיינוסים וחלק מהאטמוספירה שלו – המאוכלס על ידי מכלול היצורים החיים בכדור הארץ. חלקים שונים מכדור הארץ נמצאים תחת משטרי אקלים שונים, וכל חלק כזה מכונה **נוֹפֶה**, או **biome** (למשל, נופת יערות הגשם תחת משטר האקלים הטרופי, או נופת המדבריות שברובה תחת משטר האקלים הסובטרופי). לכל נופה מאסף שונה של יצורים חיים המכונה **יצוּרָה**, או **biota**. יצורים אלה מותאמים למשטר האקלימי ולמבנה התשתית של הנופה בה הם חיים. פרויקט זה הנערך בישראל, שלמרות ממדיה הזעירים יחסית קיימים בה משטרי אקלים שונים, מתבסס על חלוקת ישראל למערכות-על אקולוגיות (כמו המערכות המדבריות, או המערכות של החבל הים-תיכוני שבתחומי מדינת ישראל). הפרויקט מתייחס למכלול המינים של כל מערכת אקולוגית, שהוא המגוון הביולוגי (**biological diversity**, ובקיצור **biodiversity**) של המערכת. זאת על מנת להדגיש את השונות שבין המינים שבמערכת האקולוגית והשיבותה של השונות בין המינים, ולא דווקא מספר המינים, בעיצוב התהליכים האקולוגיים השונים המתרחשים בה, ושתוצאתם היא אספקת שירותי המערכת ותועלותיהן לאדם.

כמו כל מערכת כך גם המערכת האקולוגית היא רבת רכיבים תפקודיים ולכן מאופיינת בדינמיקה מתמדת. המערכת עשויה להימצא במצבים שונים של רכיביה ושל התהליכים המתרחשים בה ולעבור ממצב אחד למשנהו כאשר לכל אחד ממצבים אלה יש ביטוי בקצב אספקת השירותים ואיכותם. חלק ניכר מדינמיקה זו הוא תוצר של המבנה הספציפי של כל מערכת ומערכת, אך רוב המעברים ממצב למצב, המתבטאים גם בשינויים באספקת השירותים, נובעים מפעילותם והשפעתם של גורמים חיצוניים למערכת – גורמים מחוללי שינוי ישירים המונעים על ידי הגורמים האנושיים העקיפים (איור 1). מבחינתו של האדם המערכת האקולוגית "מתפקדת כהלכה" או מכונה "בריאה" כל עוד מתקיימים בתוכה התהליכים האקולוגיים אשר תומכים לאורך זמן באספקה מיטבית ויציבה של מגוון שירותיה. מאפיין זה נכלל גם תחת ההגדרה של "שלמות אקולוגית" (Müller, 2005). יותר מכך, מערכות אקולוגיות שהן "בראות" לאורך זמן, תורמות לקיימות (**sustainability**) רווחתו של האדם, לא רק זו של הדור הנוכחי אלא גם זו של האדם בדורות הבאים (Abson et al., 2014).

הגורם הישיר המרכזי המחולל שינוי באספקת השירותים הוא השינוי בשימושי קרקע – למשל, התמרת מערכות טבעיות למערכות מרעה (באמצעות הכנסת מקנה למערכת), למערכות יער נטוע, למערכות חקלאיות, וגם התמרה של מערכות חקלאיות למערכות מבונות שבהן נאטמים חלקים ניכרים מהקרקע ובכך חדל התפקוד של אותה קרקע כמערכת אקולוגית. תשתיות תחבורה גם הן אוטמות את הקרקע שמתחתן ומקטינות את השטח הכולל של המערכות האקולוגיות, אך עיקר השפעתן הוא בקיטוע שהן גורמות להמשכיות ולקישוריות המרחבית של המערכות האקולוגיות.

זה שנים שמדעני האקולוגיה מנסים לזהות את המאפיינים המקנים למערכות אקולוגיות טבעיות וטבעיות באופן חלקי (למשל, מערכות מרעה) עמידות בפני גורמים מחוללי השינוי ישירים, כמו שינוי בשימושי קרקע, זיהומים כימיים, שינויי האקלים הגלובליים ופלישת מינים זרים. באותה מידה מנסים המדענים גם לזהות ואף למדוד את איתנותה של המערכת האקולוגית המתבטאת בשימור יכולתה לחזור למצבה המקורי לאחר שהשפעת הגורם מחולל השינוי חדלה. יתר על כן, מנסים המדענים לזהות את מאפייני ההשפעה של הגורמים מחוללי השינוי – האם עוצמת השינוי באספקת השירותים משתנה בהתאמה לעוצמת הגורם מחולל השינוי, או שתגובת המערכת אינה קווית אלא קיימת נקודת מפנה (tipping point) בעוצמת הגורם מחולל השינוי כך שכאשר ממדי השינוי גבוהים מנקודה זו, המערכת אינה מסוגלת עוד לחזור למצבה התפקודי ולכושרה לספק שירותים בממדי העבר. המערכות האקולוגיות של ישראל על המגוון הביולוגי שלהן, מסווגות כהון הטבעי של המדינה, הון אשר עמידותו בפני שינויים מהווה את קיימותו, שכן הוא עשוי לקיים אספקה יציבה של שירותי מערכת. מכאן, פחיתה בממדי ההון הטבעי, בעיקר עקב שינויים בקרקעות, בגופי מים, וברכיבי המגוון הביולוגי שלהם, משמעה פחיתה באיכות ובממדים של אספקת השירותים.

5. שירותי המערכת האקולוגית ותועלותיהם

הערכת המילניום שבוצעה בקנה המידה הגלובלי ופורסמה בשנת 2005 הציגה לראשונה את מכלול שירותי מערכת כשהם ממוינים לארבע קבוצות. פרויקט זה מסתמך על חלוקה זו עם שינויים קלים בהגדרות לצורך התאמתן להתפתחויות בתחום, לשפה העברית ולמציאות הישראלית: (1) **שירותי אספקה** – תהליכים ורכיבים במערכת האקולוגית המספקים מוצרים שהאדם צורך, וחלק מהם הכרחיים לקיומו. מוצרים המתקבלים משירותי האספקה כוללים מזון, מי שתייה, עצים לבנייה ולהבערת אש, תרופות ומשאבים גנטיים בעלי יישומים ביוטכנולוגיים; (2) **שירותי ויסות** – תהליכים במערכות האקולוגיות התורמים ליצירת תנאי סביבה שהכרחיים או נוחים יותר עבור האדם, כמו ויסות כמות המים ואיכותם, מיתון תנאי אקלים קיצוניים ושיטפונות, שיפור באיכות האוויר, האבקה של גידולים חקלאיים, בקרה של מזיקים והקטנה בסחירת הקרקע; (3) **שירותי תרבות** – תרומתם של תהליכים ורכיבים במערכות האקולוגיות (בהגדרה רחבה – הכוללת מגוון ביולוגי ונוף) להעשרת חייהם של בני אדם. התועלות משירותי התרבות יכולות להיות פיזיות, כמו נופש, תיירות וספורט; אינטלקטואליות, כמו חינוך ומחקר מדעי; או סמליות, כמו אומנות, זהות, חוויה רוחנית ודת; (4) **תהליכים אקולוגיים תומכים** (בהערכת המילניום נקראים **שירותי תמיכה**) – תהליכים בסיסיים התומכים בקיומה של המערכת האקולוגית בכללותה וכך תומכים באספקתם של כלל השירותים. כמוזכר לעיל, בין התהליכים הללו נכללים יצרנות ראשונית, מחזור חומרי הזנה, יצירת קרקע, האבקה של צמחי בר ומחזור המים בטבע.

הערכת המילניום בוצעה ברמה הגלובלית, אך בשלביה המתקדמים התנסתה גם במספר הערכות בקנה מידה מפורט יותר ("הערכה תת-גלובלית"). פרויקט הערכת המילניום, על ההערכות התת-גלובליות שלו, היווה רזז לביצוע הערכות ברמה הארצית/לאומית במספר גדל והולך של ארצות. בין הראשונות להן הוא פרויקט ההערכה הלאומית

של המערכות האקולוגיות של הממלכה המאוחדת (UK-NEA) שאימץ את המסגרת הרעיונית של הערכת המילניום אך גם שינה ועידכן אותה במספר נקודות. הערכה זו של הממלכה המאוחדת שימשה כמודל התייחסות במהלך הביצוע של הפרויקט הישראלי, ממנה אימץ גם שני שינויים מהמסגרת הרעיונית של הערכת המילניום.

שינוי אחד נובע מהכללת הערכה כלכלית של שירותי המערכת בתוכנית העבודה של הפרויקט, שלא בוצעה על ידי הערכת המילניום, אך היתה רכיב חשוב בהערכת הממלכה המאוחדת. ביצוע ההערכה הכלכלית העלה את החשש לחשבונאות כפולה כאשר מתבצעים חישובים נפרדים, למשל, לערכו הכספי של שירותי מחזור חומרי ההזנה, ולערכו הכספי של שירותי לכידת הפחמן, שכן האחרון מגלם את קודמו, כי שירותי לכידת הפחמן לא היה מתבצע ללא קיומו של שירותי מחזור חומרי ההזנה. היות וכך הוציאה המסגרת הרעיונית של פרויקט הממלכה המאוחדת את התהליכים האקולוגיים התומכים מהמסגרת של "שירותים", מה שמיתר את הצורך להעריך כספית תהליכים אלה, כאשר נעשית ההערכה של השירותים השונים מכל אחת משלושת הקבוצות הנותרות. אולם, פרויקטי הערכת מערכות לא מבצעים רק הערכות כספיות של השירותים, אלא גם ובעיקר מנסים לזהות את רכיבי המגוון הביולוגי המעורבים באספקת כל שירות, ואף יותר מכך, את הגורמים המחוללים שינוי במגוון הביולוגי ולכן גם באספקת השירותים. בתחומים אלה התייחסות ההערכה לתהליכים התומכים זהו לזו של כל אחת משלושת קבוצות השירותים. משום כך, גם פרויקט ההערכה שהתבצע בממלכה המאוחדת וגם הפרויקט המדווח כאן הטמיעו קבוצה זו במסגרת הרעיונית ומטפלים בה בפרק "מגוון ביולוגי ותהליכים תומכים" (פרק 3). בנוסף על כך, גם בפרקי המערכות השונים של הפרויקט הישראלי (פרקים 4 – 9), קיימת התייחסות לתהליכים התומכים בדומה להערכת שאר השירותים, לפי העניין והמידע שנמצא.

שינוי שני לעומת המסגרת הרעיונית של הערכת המילניום היא האבחנה בין **שירותים** (אשר הוגדרו על ידי הערכת המילניום כ"תועלות לאדם ממערכות אקולוגיות") ובין **התועלות** הנובעות מהשירותים. וכך "שירותים" הם הרכיבים או התהליכים האקולוגיים המתרחשים במערכת האקולוגית, ואלה מייצרים את התועלות לאדם הנהנה מהם, באשר הוא. באיור 2 מפורטים השירותים המסופקים מהמערכות האקולוגיות של ישראל שנסקרו במסגרת הפרויקט, כולל דוגמאות לתועלות הנובעות משירותים אלה וסימון יחסי הגומלין בין קבוצות השירותים. לדוגמא, שירות וויסות מחזור המים המופק על ידי מערכת החורשים והבתות של החבל הים תיכוני של ישראל הוא תהליך בו הצמרות והעלווה של העצים ממתנים את עוצמת המכה של טיפות הגשם בהגיען לקרקע. לתהליך זה, שהוא המנגנון של השירות, ישנן תועלות אחדות – החדרת מים לקרקע, החדרת מים לאקווה (מאגר מי תהום) ומיתון נגר עילי ושיטפונות, כאשר ניתן לכמת את ערכה של כל אחת מהתועלות הללו לכל אחד מהרכיבים השונים של רווחת האדם. כך ניתן לקשר בין המושגים ולתחום אותם: תהליכים אקולוגיים תומכים \Rightarrow תהליכים אקולוגיים נתמכים = שירותי המערכת האקולוגית \Rightarrow תועלות \Rightarrow ערכים המעידים על תרומת התועלות לרווחת האדם (Fisher et al., 2009).

6. שירותי מערכת פוטנציאליים

המסגרת הרעיונית המגדירה רכיבים ותהליכים אקולוגיים שמייצרים תועלות לאדם כ"שירותים" מחייבת זיהוי של הנהגים מתועלות אלה, היינו – המשתמשים בשירותים. כלומר, תהליך אקולוגי שאין לאיש בישראל תועלת ממנו, אינו ראוי להיחשב כשירות מערכת. מכאן שעל מנת לזהות תהליך אקולוגי כשירות מערכת יש לאתר את הצרכן האנושי של התהליך (Bastian et al., 2012). אך המציאות היא ששינויים במערכות האקולוגיות ו/או שינויים במערכות האנושיות עשויים להשפיע על יכולת הזיהוי של תהליך אקולוגי כשירות מערכת. במקרים אלה ניתן לכנות רכיבים ותהליכים אקולוגיים מסוימים כשירותים פוטנציאליים. מדובר, למשל, בתהליכים שהיו להם צרכנים בעבר

ולכן תיפקדו כשירותי מערכת לכל דבר, אך השירותים הללו נזנחו וכיום לא נעשה בהם שימוש (או שהשימוש בהם נעשה מזערי). שינוי זה בשימוש או בביקוש לשירות יכול לבוע מגורמים אפשריים שונים: (א) פיתוח ושימוש בטכנולוגיות, שעשויות לשמש כתחליף לשירות כלשהו. למשל, התפלת מי ים, שיכולה להחליף את שירות אספקת מים שפירים של מערכת אקולוגית מימית, או אימוץ בניית טרסות חקלאיות על מדרונות תלולים שעשויה לייתר את שירות המערכת של וויסות סחיפת קרקע; (ב) שינויים כלכליים/תרבותיים כמו הקטנת הביקוש לשירות האספקה של צמחי רפואה וזאת בעקבות התקדמות הרפואה המודרנית וכתוצאה מכך יצירת תלות בלעדית של האוכלוסייה בתרופות התעשייתיות; (ג) שינויים בתיפקוד המערכת האקולוגית, כמו למשל מקרה הכחדת הלטרות בחופי קליפורניה על ידי צייד יתר, שבעקבותיה חל גידול באוכלוסיית מזונה של הלטרות, קיפודי הים הניזונים מאצות, אצות ששימשו כבית גידול לדגים מסחריים, מה שהביא לדלדול אוכלוסיותיהם. בכך הצטמצם ההיצע של שירות אספקת דגי מאכל על ידי המערכת האקולוגית של החוף הימי של קליפורניה (Jackson et al., 2001).

ישנו גם התרחיש ההפוך, כאשר תהליכים אקולוגיים שלא היה להם ביקוש על ידי האדם בעבר אך בהשתנות הנסיבות נוצר ביקוש בהווה, ולכך מספר דוגמאות: (א) המחקר המדעי והטכנולוגיה שהתפתחה בעקבותיו מאפשרים טיפוח צמחי בר לצמחי תרבות, ופיתוח מינים מהבר ללוחמה ביולוגית במזיקי גידולים, או להפקת חומרי רפואה. כל אלה הן פעילויות מו"פ שמאפשרות להגדיר מערכות אקולוגיות טבעיות כספקיות שירותי אספקה של משאבים גנטיים, מה שלא ניתן היה לעשות טרם בוצעה פעילות מחקר מדעי זו (Wilson, 1988); (ב) המגמה החברתית-תרבותית של שימוש ב"מזון בריאות" מן הטבע עושה את התהליך האקולוגי של "אספקת בית גידול" לצמחי הרפואה לתהליך חשוב התומך בשירות של המערכת האקולוגית – אספקת צמחי רפואה – מה שלא היה טרם השינוי התרבותי; (ג) עלייה בנגישות למערכות אקולוגיות בעלות פוטנציאל גבוה לאספקת שירותי תרבות, בעיקר שירותי נופש בחיק הטבע ושירותי נוף, עקב פריצת דרכים, עלייה ברמת החיים, והתארכות משך הזמן הפנוי, פוטנציאל שלא היה ממומש קודם לפיתוח התשתיות (de Groot et al., 2010; Orenstein et al., 2012). שתי הפסקאות האחרונות מכילות דוגמאות לשירותים פוטנציאליים שהתממשו בעבר כאשר היה להם ביקוש על ידי האדם, אך אינם בשימוש כיום, ודוגמאות לשירותים פוטנציאליים שלא היה להם ביקוש בעבר אך הפוטנציאל שלהם התממש לאחרונה.

בהקשר זה יש לאבחן גם שירותים פוטנציאליים שלא הייתה מודעות לשימושם, היינו תהליכים אקולוגיים שהוגדרו כשירותים בעקבות שינויים סביבתיים, כמו שירות לכידת הפחמן. למערכות האקולוגיות בכדור הארץ על מגוון יצוריהן השפעה על האקלים העולמי דרך וויסות הריכוזים של גזי החממה השונים באטמוספירה. קיבוע הפחמן על-ידי הצמחים הינו אחד התהליכים הללו והוא למעשה מרכיב בתוך התהליך התומך של הייצור הראשוני. אולם כאשר התברר שריכוז הפחמן הדו-חמצני עולה בקצב הולך וגדל ובאופן שכיסוי הצומח אינו מצליח לאזן, בגלל התעצמות פליטות גז זה עם הגידול בשריפה של דלקים מאובנים, הוגדרו התהליכים של קיבוע הפחמן האטמוספרי לפחמן אורגני במערכת האקולוגית והשמירה של פחמן זה בגופי הצמחים ובקרקע, כשירות לכידת הפחמן. שירות זה קיבל מקום מרכזי תחת השירות של וויסות האקלים העולמי היות שלממדי אספקתו מקום נכבד בעיצוב עתידו של אקלים כדור הארץ על כל המשתמע מכך. שירות לכידת הפחמן הוא אפוא דוגמא של שירות שהיה 'רדום' לכאורה בתודעתו של האדם. דוגמא נוספת לשירות שהיה חוסר מודעות לקיומו, הוא שירות ויסות הגנת החופים של מערכת יערות המנגרובים בחופים הטרופיים של האוקיאנוסים, שם הם מגינים מפני אירועי-קיצון כמו סופות הוריקן וצונאמי. המודעות לקיומו של שירות זה הושגה רק כאשר התברר כי במקומות שהוסרו יערות אלה (בין השאר, כדי להקים בריכות לגידול חסילונים), נזקי הצונמי היו גדולים משמעותית בהשוואה למקומות בהם יערות המנגרובים נשמרו (Barbier et al., 2010). בישראל, ניתן למצוא דוגמה דומה ל"גילוי" שירות וויסות לאחר שינוי מכוון במערכת אך

שלא מדעת על קיומו של השירות במערכת, בשינוי של מערכת המים של ביצת ואגם החולה, פרויקט המוכר כייבוש החולה' (תיבה 2).

לסיכום, פרויקט זה מתייחס בראש ובראשונה לרכיבים ולתהליכים המזוהים כשירותים שיש להם ביקוש על ידי המשתמשים כיום. אך הפרויקט מטפל גם במצבי עבר של המערכות האקולוגיות, מה שמאפשר זיהוי של שירותים פוטנציאליים, שחלקם עשויים להתממש בעתיד עם עליה בביקוש לתוצריהם. הפרויקט מצביע גם על הצורך לשמר רכיבים של המגוון הביולוגי אשר לכאורה אינם מעורבים באספקת שירותים עכשוויים או פוטנציאליים, אך עשויים להיות נדרשים לצורך אספקת שירותים עתידיים (Bastian et al., 2012).

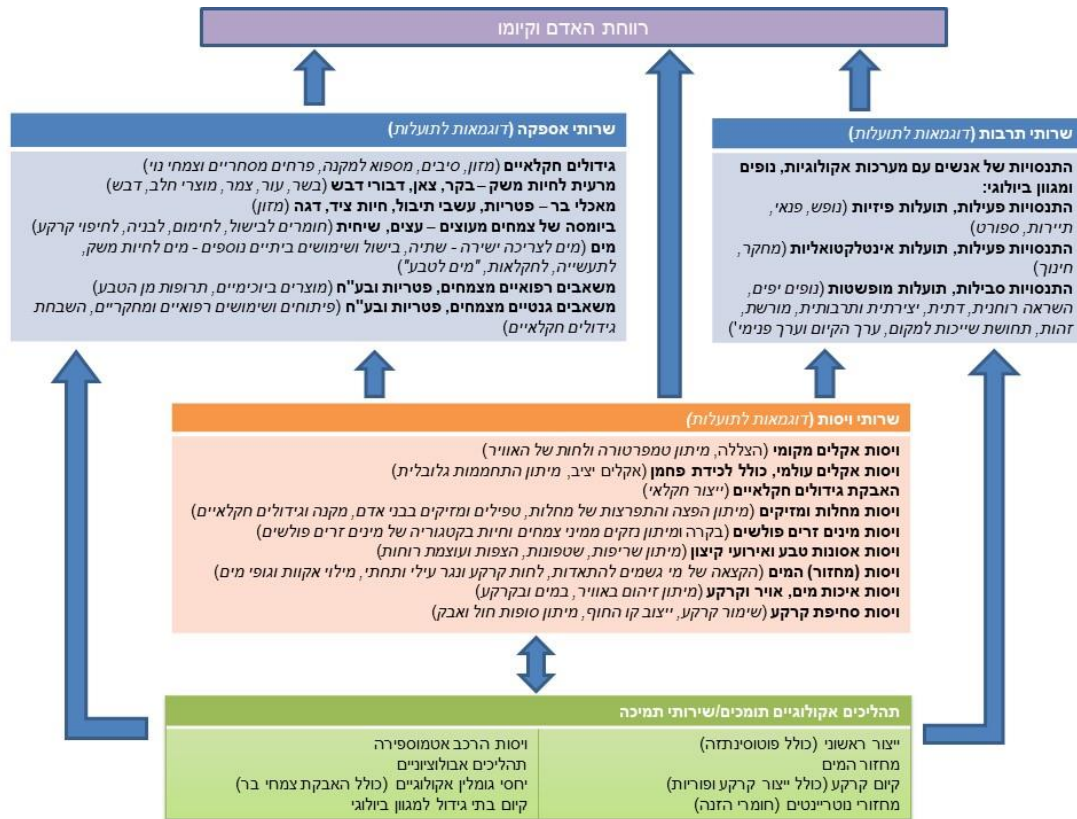
תיבה 2: שינוי שימושי קרקע גורם לשינוי באספקת של שירותי מערכת האקולוגית – ייבוש החולה

ההיסטוריה של אגם החולה מהווה דוגמה מצויינת למערכת אקולוגית שסיפקה שירותי מערכת שהובנו רק לאחר שהמערכת עברה שינויים קיצוניים על ידי האדם. עד 1950 התייחסו השלטונות והתושבים לאגם החולה כמקור למחלת המלריה המועברת על ידי יתושי האנופלס ולכן ראו בו איום סביבתי. כמו כן התושבים ומקבלי ההחלטות ביקשו להפוך את שטחו לאדמה חקלאית (Hambright & Zohary, 1998). למרות התנגדות מסויימת של חובבי הטבע נערך פרויקט הנדסי רחב היקף שניקז את מי אגם החולה לכינרת. תהליכים דומים של ייבוש בתי גידול לחים נפוצים בישראל (Levin et al. 2009) ובעולם כולו (Reid et al., 2005). התוצאה היא אובדן של מינים רבים ושירותי מערכת בישראל ובעולם כולו.

ייבוש החולה ופעולות השיקום שנערכו כעבור עשרות שנים גרמו להגברה והפחתה של שירותי מערכת שונים (Cohen-Shacham et al. 2011). מצד אחד, ייצור מזון (שירות אספקה) עלה בעקבות ייבוש האגם בו בזמן שאספקת חומרי גלם כגון סיבים ודברי קישוט ירדה. פרויקט הייבוש גרם לאובדן שירותי וויסות כגון וויסות וטיהור המים מכיוון שבאגם שקעו חנקות ומינרלים ולכן לא זרמו אל הכינרת. כתוצאה מכך ירדה איכות המים בכינרת יחד עם עליה בכמות הסדימנטים, החנקות והזרחות שזרמו אליה (Hambring & Zohary 1988). ההצפה של אגמון החולה שיקמה במידה מסויימת את שירותי הוויסות הללו וסייעה להופעה של מינים שנעלמו (Gophen 2015). בדומה, שירותי תרבות כגון פעילויות פנאי וחינוך שהצטמצמו עקב הייבוש שוקמו במידה רבה בעקבות פעולות ההצפה של אגמון החולה.

ייבוש החולה נחשב כאחד מהגורמים המרכזיים לאובדן מינים במאה שעברה, בעיקר מינים של דו-חיים ודגים (Dolev & Perevolotsky 2004). ההצפה הובילה להתאוששות חלק מהמינים, בעיקר מיני צמחים (Kaplan et al. 1998) כולל מינים שנחשבו למינים שהוכחדו. כמו כן האגמון הפך לתחנת מעבר ולאתר חריפה של עופות ממינים שונים.

איור 2: שירותי המערכות האקולוגיות של ישראל שזוהו במסגרת פרויקט 'מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית' (בסוגריים מצויינות דוגמאות לתועלות מכל שירות).



7. המגוון הביולוגי ומעורבותו באספקת שירותי המערכות האקולוגיות

7.1 מהו המגוון הביולוגי?

המונח האנגלי biological diversity נכנס לשימוש בשנות ה-80 המוקדמות של המאה העשרים ובגרסתו המקוצרת, biodiversity, במחצית השנייה של אותו עשור. מונח זה שימש אז ועודו משמש כתחליף לצמד המונחים "עושר המינים" (שאינו אלא מספר המינים באתר או במערכת אקולוגית), ו"מגוון המינים" (מדד אקולוגי המצרף את מספר המינים והשפע היחסי של כל אחד מהם באותו שטח או מערכת). בשיח הציבורי ואף המקצועי בישראל המונח "מגוון ביולוגי" לא חזק את השימוש הרווח ב"מגוון המינים", שעל פי רוב מיוחס לעושר המינים. זאת גם כאשר "המגוון הביולוגי" מופיע בעיקר במדיום הכתוב של מגזר הארגונים ה"ירוקים" עוד במהלך העשורים הראשונים של המאה הנוכחית. גם לאחר שהמשרד להגנת הסביבה המיר את שם ה"אגף לשטחים פתוחים" ב"אגף שטחים פתוחים ומגוון ביולוגי", וגם פרסם ב-2010 מסמך בשם "תכנית לאומית למגוון הביולוגי" המושג עדיין לא מוכר על-ידי רוב הציבור בישראל.

לצורך פרויקט הערכת המערכות של ישראל הוגדר המגוון הביולוגי כ-"הרב-גוניות של היצורים החיים במערכת אקולוגית או באתר מוגדר כל שהוא". בנוסף, מציינת ההגדרה (ראו מונחון) גם כי "בשימוש הרחב מכליל המונח את עושר החיים על פני כדור הארץ, על מגוון המינים, המערכות והנופים בהם הם מתקיימים ומתפקדים". הסיפא של ההגדרה מצביע על שימושים במונח שמקורם עוד בשנות ה-80 אך בעיקר החל בשנות ה-90, על ידי ארגונים בינלאומיים ובעיקר על ידי "אמנת המגוון הביולוגי" של האו"ם המגדירה את המגוון הביולוגי כמְשֻׁפָּטות

(variability) התוך-מינית (השוני שבין הטיפוסים הגנטיים, האוכלוסיות והזנים השונים של כל אחד מהמינים), זו שבין המינים וזו שבין המערכות האקולוגיות. הגדרה זו משקפת את גישת ההיררכיה הביולוגית המאפיינת את הרב-גוניות ואת עושר החיים על פני כדור הארץ, על רמותיה הביולוגיות, החל במגוון המולקולרי, עבור למגוון הגנטי, למגוון המינים (שלא במשמעות המדד האקולוגי הנושא שם זה), למגוון המערכות האקולוגיות וכלה ברמת הנופים (מכלולי המערכות ביוצרים יחידות נוף).

היות והפרויקט אמור להעריך את מעורבות המינים של כל אחת ממערכותיה האקולוגיות של ישראל בהפקת שירותים, מתמקד הפרויקט ברמה ההיררכית המרכזית, היינו המגוון שבין המינים, ורק במקרים מיוחדים הוא עוסק גם במגוון ש"בתוך" המינים, שהוא המגוון הגנטי. גם אם הפרויקט אינו מתייחס למגוון שבין המערכות האקולוגיות, הוא בוחן את השונות הבין-מערכתית באספקת השירותים ובמגוון הביולוגי המעורב באספקתם ומאפיין כל אחת מהמערכות בממדי אספקה זו. לפיכך, המודל הגרפי של המסגרת הרעיונית (איור 1) מציג את המגוון הביולוגי כרכיב הכרחי של המערכת האקולוגית (וכרכיב משמעותי של ההון הטבעי של המדינה), שכן שטח כל שהוא שאין בו מגוון ביולוגי אינו מתפקד כמערכת אקולוגית ולפיכך גם אינו מספק שירותי מערכת אקולוגית (אך לא כל אתר שיש בו רכיבים של המגוון הביולוגי מתפקד כמערכת אקולוגית). לסיכום, פרויקט הערכת המערכות האקולוגיות נועד להציג את חשיבותן של המערכות הללו באספקת תועלות, ביניהן קיומיות. אך משום שאלה תלויים במגוון הביולוגי המאכלס אותן, משימתו של הפרויקט היא לזהות את אופני וממדי המעורבות של רכיבי המגוון הביולוגי של המערכת בהפקת שירותיה, ובכך להעמיק את הבנת הציבור והממשל בצורך בשמירת הטבע, שעיקרה שמירה על המגוון הביולוגי, כך שיבטיח את המשך אספקת השירותים.

7.2 כיצד מתפקד המגוון הביולוגי באספקת שירותי המערכת?

כל יצור החי במערכת האקולוגית עשוי להיות מעורב, במישורין או בעקיפין בתהליכים האקולוגיים המוגדרים כשירותים. גודל תרומתם של המינים להפקת השירותים משתנה במידה ניכרת ממין למין ומשירות לשירות. עושר המינים או מגוון המינים מבטאים על פי רוב בשמות המינים ומספריהם בכל אחת מהקבוצות הטקסונומיות, וזאת לפי מידת הרזולוציה הטקסונומית (מספר מיני הצמחים, מספר מיני הדגניים על סוגיהם, וכד') או לפי אורחות חייהם (חד-או רב-שנתיים, עשבונים או מעוצים). אולם, זיהוי תפקידו של המגוון הביולוגי באספקת השירותים מצריך מיון של המינים בהתאם לתפקודיהם המערכתיים, היינו מיון לרכיבים תפקודיים. זיהוי זה חשוב באופן מיוחד בהתייחס לשירותי הוויסות, מהם התורמים החשובים ביותר לקיומו של האדם, כאשר מודעות הציבור לקיומם נמוכה והידע על מנגנוני הפקתם ועל מעורבות המגוון הביולוגי במנגונים אלה לוקה בחסר. להלן מספר דוגמאות של מעורבות רכיבי המגוון הביולוגי בכל אחת מארבע קבוצות השירותים.

שירותי הוויסות: חלק משמעותי משירות וויסות מחזור המים, שבין תועלותיו ויסות החדרת מים לקרקע ולמי התהום, ומיתון ממדי הנגר העילי, מסופק על ידי רכיב המגוון הביולוגי הקרוי "תכסית הצומח". עם נופלן, טיפות הגשם נתקלות לראשונה בתכסית הצומח, שתפקודה באספקת השרות מבוסס על הארכיטקטורה הפיזית של מיני הצומח ולא על עושר מיני התכסית והמגוון הטקסונומי שלהם. תרומת כל מין של צמח לארכיטקטורה הפיזית מתבטאת בגובהה (או עובייה) של התכסית, ובצפיפות מכלול העלווה והענפים. עד שטיפות הגשם מידרדרות מעלה לעלה ומענף לענף ומגיעות לפני הקרקע קטנה והולכת עוצמת פגיעתן בקרקע, מה שמאפשר לטיפה לחדור לקרקע ולא ליצר נגר עילי. בנוסף, תכסית הצומח מעורבת גם בהאטת הנגר העילי הנוצר בעוצמות משקעים גבוהות, בחלחול המים לעומק הקרקע ובאידויים חזרה לאטמוספירה. וכך תכונותיו הארכיטקטוניות של רכיב המגוון הביולוגי הקרוי

”התכסית הצמחית” מעורבות בקביעת שיעור מי הגשמים שיחדרו לקרקע וממנה לאקווה לעומת שיעורם שימלא את המאגרים הטבעיים (ככנרת) והמלאכותיים.

במנגנון של שירות וויסות מזיקי חקלאות מעורב רכיב מגוון ביולוגי המתאפיין במיקומו במארג המזון – ויסות פרוקי רגליים המזיקים בחקלאות מתבצע באמצעות רכיב הטורפים של פרוקי הרגליים. רכיב זה במערכת האקולוגית כולל מינים רבים מקבוצות טקסונומיות שונות, כמו ציפורים, עכבישים וחרקים, ובעלי אופי הזנה שונה, כמו טורפים מתמחים וכוללניים או אוכלי כל. לעומת זאת ויסות מכרסמים המזיקים בחקלאות מתבצע על ידי רכיב של מינים טורפים המתמחים בטרף מסוג זה, בעיקר עופות דורסים (תיבה 3).

תיבה 3: שרות ויסות של מזיקי חקלאות

מינים רבים של חיות בר נוטלים תפקיד חשוב בויסות של מיני מזיקים לחקלאות. מעריכים כי תנשמות לבנות (Barn owls) ניזונות מאלפי מכרסמים מדי שנה. לכן התנשמת מיצגת רכיב במגוון הביולוגי המעורב ישירות בשירותי וויסות. האדם חולל שינויים רבים שהשפיעו על המגוון הביולוגי של מקומות הקינון, בעיקר צמצום מספר העצים המתאימים לקינון. לפיכך הגורם המגביל לגודל אוכלוסיית התנשמות בעקבות השינויים שחולל האדם הוא זמינות מקומות קינון. לכן בין השנים 2008 ועד 2012, הוצבו 3,000 תיבות קינון לתנשמות בשטחים חקלאיים ברחבי המדינה שאיפשרו הגדלה משמעותית של אוכלוסיית התנשמות. כתוצאה מכך התחזק מאוד אפקט הוויסות של התנשמות מה שהביא להפחתה משמעותית במספר המכרסמים שגרמו לנזקים בשטחים אלו ולסיוע להימנעות מהשימוש בחומרי הדברה כימיים (Meyrom et al., 2009). למשל, לחץ הטריפה של התנשמות בשדות אספסת לאחר הצבת תיבות קינון הגדיל את היבול ב-3.6% (מוטרו וחובריו, 2013). זו דוגמה לכך שאדם מחולל שינוי (באמצעות הצבת תיבות קינון) המגביר את שירות הוויסות של התנשמות. לכן ניהול ראוי של אוכלוסיות חיות הבר יכול לקדם שליטה ביולוגית של מזיקים חקלאיים, או, במילים אחרות, יכול לרתום את הפוטנציאל של רכיב זה של המגוון הביולוגי לטובת אספקה של שירותי ויסות.



תנשמת עם נברן במקורה
צילום: אמיר עזר

תהליכים אקולוגיים תומכים (שירותי התמיכה): התהליך התומך של מיחזור חומרי ההזנה (נוטריינטים), שאחת מחוליותיו היא הפרוק (decomposition) של הנשורת (בעיקר צמחים מתים וחלקיהם, עלים וענפים), מתבצע כפס ייצור הפותח בפירוק פיזי של עלי הנשורת וענפיה למקטעים קטנים על ידי מספר מינים של חיפושיות קרקע הניזונים מהנשורת, ומסתיים בפרוק הכימי של המולקולות האורגניות של עלי וענפי הנשורת והתמרתן, על ידי חיידקי קרקע ופטריית זעירות, למולקולות מינרליות המשמשות כחומרי הזנה לצמחים. הפקתו של תהליך תומך חשוב זה תלויה לא במספר המינים המבצע את המיחזור, אלא במגוון תפקודיהם: בכל אחת מהחוליות מתפקדים מספר מינים, מהם בעלי תפקודים זהים, כאשר האחד משמש כבטוחה לפעילותו של התהליך גם אל מול גורמים מחוללי שינוי, כך שלמינים שייפגעו יהיו תמיד ממלאי מקום.

בתוך מכלול יחסי הגומלין המתרחשים במערכת האקולוגית שבכולם מעורבים כל מיני ורכיבי המגוון הביולוגי, יחסי גומלין שבין המינים השונים ואלה שביניהם לבין התשתית הפיזית (קרקע או מים) ולגורמים הכימיים-פיזיקליים האחרים המשפיעים על המערכת כולה, ישנם גם תהליכים המאפשרים למינים עצמם להתקיים במערכת. אוסף של תהליכים כאלה מספק, מתחזק ומקיים את בתי הגידול של רכיבי המגוון הביולוגי, של מינים שונים, וכך מאפשר את קיומו של המגוון הביולוגי במערכת. שירות תמיכה זה קרוי *habitat refugium* (Costanza et al., 2006) או "שירות בית גידול" (TEEB, 2010), ו"שירות קיום בתי גידול למגוון הביולוגי" בפרויקט זה. באספקת השירות מעורבים מרבית רכיבי המגוון הביולוגי של המערכת, אך ישנם גם רכיבי מגוון ביולוגי ספציפיים שחלקם משמעותי יותר בשירות זה. כאלה הם, למשל, המגוון הביולוגי של מיני אלמוגי האבן במערכת האקולוגית של שונית האלמוגים והמגוון הביולוגי של עצי היערות שהארכיטקטורה שלהם מספקת בתי גידול למגוון ביולוגי עשיר ביותר. כך גם ידועים מינים בודדים המהווים את רכיב המגוון הביולוגי של "מהנדסי המערכת האקולוגית" – למשל, הדורבן במערכת המדברית (Jones et al., 1994) והצינוריר הבונה (חילזון ימי) במערכת חופי הים-התיכון (Safriel, 1975), אשר מבצעים תהליכים אקולוגיים המעצבים את תשתיות המערכת כך שהיא מספקת בתי גידול למינים רבים אחרים.

שירותי אספקה: שלא כרוב שירותי התמיכה והוויסות המתבצעים הודות לפעילות משולבת של כמה מינים, רוב שירותי האספקה הם היצורים עצמם, אשר גופם או חלקי גופם, נעשים מוצרים ביולוגיים פיזיים, ורובם נסחרים בשוק ו/או נעשה בהם שימוש ישיר. אלה הם אותם מיני הדגים שתכונותיהם עושים אותם לדגה. היינו המין הוא משאב, ומרגע שנשאב מהמערכת האקולוגית (נדוג) הוא מהווה מוצר העשוי להיסחר בשוק. שרשרת של תהליכים אקולוגיים הביאה לאספקת השירות הזה ולתועלות המופקות ממנו ומרביתם בוצעו על ידי אותו דג עצמו, החל מתהליכי הבשלת הביצה, תהליכי הגידול של הפגית, ועד הגיע הדג באמצעות המינים שמהם הוא ניזון במערכת לממדים של מוצר נשאב. מוצרים שהם חלקים/איברים של יצורים מתקבלים משרותי האספקה של המערכות החקלאיות, ורכיבי המגוון הביולוגי העיקרי המעורב בשרות אספקה זה הוא מיני התרבות, או המגוון האגרו-ביולוגי. כך, למשל, פרי העגבנייה הוא המוצר, והתהליך האקולוגי שהביא לייצור המוצר הוא תהליך גידול צמח העגבנייה עד שהגיע הפרי להבשלה ונעשה למשאב.

שרות אספקה נוסף וייחודי הוא זה של אספקת מוצרים שאינם חלקי גוף הייצור אלא מוצרים שהוא מייצר בחייו, והאדם "שואב" אותם ומפיק מהם תועלות. דוגמה לכך היא דבורת הדבש המעורבת בשרות האספקה של אספקת מוצר חקלאי, הדבש, שמקורו בצוף המופק על ידי רכיב ספציפי של המגוון הביולוגי – רכיב המגוון הביולוגי של הצמחים הצופניים. דבורת הדבש מייצגת גם רכיבי מגוון ביולוגי שמעורבים באספקה של שירותים נוספים: אותה

דבורה מספקת גם שירותי האבקה – שירות ויסות כאשר המואבקים הם מיני גידולים במערכות החקלאיות, ושירות תמיכה כאשר היא מאביקה צמחי בר, רכיב המגוון הביולוגי של צמחים מואבקי חרקים (איור 2).

אחד מרכיבי המגוון הביולוגי שהוא רכיב תוך-מיני הוא המגוון הגנטי, כלומר, מאגר הגנים (שונויות גנטיות) של אוכלוסיות של כל מין ומין. כאשר מין בר כלשהו הינו קרוב משפחה (טקסונומית וגנטית) של מין תרבות (למשל, גידול חקלאי) או המקור שממנו הוא בוית, אזי המאגר הגנטי של מין הבר מהווה שירות אספקה. למשל, מספר קטן של אתרים במערכת החורשים והבתות של ישראל מתחזקים אוכלוסיות של מין הקרוי חיתת הבר (אם החיטה), ונחשב לאבי החיטה התרבותית. המגוון התוך-מיני של אוכלוסיות אלה בעל ערך חקלאי משום שאוכלוסיות אלה חשופות לברירה הטבעית המעניקה להם עמידות לגורמים סביבתיים שונים, כמו תנאי מחסור במים או לחץ של מזיקים. לעומתן, הברירה המלאכותית שפועלת על החיטה התרבותית המבויתת בוררת בעיקר תכונות של הגדלת יכולים ושיפור באיכותם, לעתים על חשבון אבדן תכונות של עמידות כנגד שינויים סביבתיים המתרחשים חדשות לבקרים בימינו. במצב זה הזרעים והגנים של אוכלוסיות צמחי חיתת הבר הם משאב המסופק על ידי המערכת האקולוגית. משאב זה יכול לשמש לצורכי ריבוי והכלאות עם החיטה התרבותית, מה שעשוי להקנות לחיטה הגדלה במערכות האקולוגיות החקלאיות עמידות בפני גורמים מחוללי שינוי עכשוויים ועתידיים (Nevo et al., 2012).

שירותי תרבות: כמו שרוב שירותי האספקה מספקים מוצרים שהם היצורים עצמם או חלקי גופם, כך גם חלק משירותי התרבות הם היצורים עצמם. אלא שבעוד שמוצרי שירותי האספקה הם מוצרים מוחשיים הנשאבים מהמערכות האקולוגיות, מוצרי שירותי התרבות הללו הם פרטים של מינים ספציפיים או של קבוצות מינים שמתפקדים כמוצרים וירטואליים, אשר אינם מוצאים מהמערכת, שכן ההנאה מהם מופקת כאשר אנשים מתנסים במפגש עמם. דוגמא לכך ניתן למצוא בבעלי החיים ה"כריזמטיים" כצבי או כנשר, שאנשים נהנים לחזות בהם ובאורחות חייהם כשהם בתוך סביבתם הטבעית. "מוצרים" אלה יכולים להיות מינים בודדים, או רכיבי מגוון ביולוגי טקסונומיים כמו ציפורים, פרפרים, ודגים שמפיקי התועלות מהצפייה בהם הם צפרים, חובבי פרפרים, וצוללנים, בהתאמה, אשר צפייה זו היא תחביבם. בעוד הצפייה בצבי אחד או ציפור נדירה אחת מהווה תועלת של שירות תרבות המתבססת על מין יחיד, אוסף של מינים רבים ומגוונים על פני שטח נרחב, ואף שילוב של מערכות אקולוגיות שונות, מאפשר את ההנאה מנופים המרוממת נפש בקרב אנשים רבים. נופים רבים הם תוצאה של תהליכי עיצוב אקולוגיים וגיאולוגיים, שילוב שיוצר מגוון נופי שבא לידי ביטוי בולט במערכות המדבריות שם הוא מהווה שירות תרבות חשוב (Termorshuizen & Opdam, 2009). לכל מצרפי המינים והנופים הללו תועלות של התפעמות ממראות מרהיבים, תועלות של תחושות מקום, תועלות של נופש ערכי בחיק הטבע, ותועלות ההעצמה של תחושות דתיות ו/או אתיות המתבססות על הקשר שבין האדם והטבע (תיבה 4).

לבסוף, המגוון הביולוגי על כל רכיביו, אלה שקל לצפות בהם, אלה המעורבים בעיצוב הנוף ואף אלה שאינם נראים אך קיימת המודעות לקיומם, מעורבים באספקת קבוצה של שירותי תרבות נוספים שתועלתה אתית/מוסרית, ואינה מופקת בהכרח באמצעות מגע ישיר עם המערכת האקולוגית, אך באמצעות ידע ומודעות למערכות האקולוגיות ולתפקודן. כאן כוללים את ההכרה בערכו הסגולי-הפנימי (intrinsic value) של הטבע בכלל ושל המגוון הביולוגי בפרט, בערך ההורשה של רכיבי הטבע לדורות הבאים (bequest value), ואף בערכם הנובע מעצם קיומם (Existence value) (Haines-Young & Potschin, 2013; 2018).

תיבה 4: שירותי תרבות – תרומת הנוף של אזור הערבה

מערכות אקולוגיות צחיחות ביתר (Hyper-arid), כדוגמת אלה של אזור הערבה בדרומה של ישראל, מהוות סביבות מאתגרות ליישוב אדם. פרט לאקלים הקיצוני, המרחק הפיזי בין אזור הערבה לבין מרכז המדינה יוצר תחושה של בידוד. לפי מחקר אנתרופולוגי וסוציולוגי הנערך לאחרונה, התושבים של אזור הערבה הדרומית אכן מאתגרים על ידי תנאי האקלים, על ידי השיעור הנמוך של יצור ראשוני ("העדר צבע ירוק" בלשונם של התושבים) והמרחק ממרכז האוכלוסייה של המדינה (Sagie et al., 2013). יחד עם זאת, אותם התושבים ממש מתייחסים להרים ולנוף המדברי כגורמים התורמים להם תוכן רוחני ותרבותי המסייע להם לפצות על התנאים הקשים. הם קשורים קשר הדוק למרחבים הפתוחים, לצבעי הנוף ולמראות האופייניים לאזור. בנוסף לכך, הצמחייה, למרות שהיא דלילה ביותר, מהווה גורם מועדף מאוד על ידם. המרואיינים במחקר זה הדגישו את החשיבות של ה"ירוק" של החקלאות כגורם המשפר את מצב רוחם. לכן ברור שהנופים (שילוב של המגוון הביולוגי והמגוון הגיאולוגי) של האזור מספקים להם שירותי תרבות משמעותיים, אשר, במילותיהם שלהם, "מעצבים את הזהות התרבותית והרוחנית שלהם" (Sagie et al., 2013).



הערבה. צילום: יעל אולק

לסיכום, למרות חשיבות הידע על מעורבות המגוון הביולוגי בהפקת שירותי המערכות האקולוגיות, רבים הפערים בגוף ידע זה. עד כה הצביעו מחקרים על זיהוי תרומה של מכלול המגוון הביולוגי במערכות מחקר ספציפיות לעמידותה של המערכת האקולוגית מול שינויים סביבתיים קיצוניים (Tilman et al., 1997; Naeem et al., 1999; Loreau et al., 2001). עמידות זאת אמורה להתבטא ביכולת המערכת להמשיך ולייצר תהליכים אקולוגיים ולקיים זרם שירותים יציב, בעיקר כאשר השינויים הללו הם מאלה המחוללים שינויים בשירותי התמיכה, שכן אלה ישפיעו על הפקת כל השירותים האחרים. אפשר אפוא להעלות את ההשערה, גם אם דורשת חיזוק מדעי ניכר, שהמגוון הביולוגי מתפקד באספקת השירותים בשני אופנים: באופן האחד מינים או אף רכיבי מגוון ביולוגי ספציפיים מעורבים כל אחד באספקת שרות או מכלול שירותים ספציפיים; באופן השני מכלול המגוון הביולוגי כולו, על כל מיניו ורכיביו (כולל גם את אלה המתפקדים באופן הראשון), מקנה למערכת גם את העמידות מול הגורמים מחוללי השינוי וגם את יכולת ההתאוששות לאחר שגורמים אלה חדלים מפעולתם, ובכך מובטחת יציבותה של אספקת השירותים, Folke et al., (2004) ועמה התרומה לקיימות רווחת האדם.

8. תועלות השירותים

"תועלות" מוגדרות כאופנים החומריים והלא-חומריים בהם שירותי המערכת האקולוגית תורמים לקיום האדם ורווחתו (מונחון). התועלות נגזרות משירותי המערכת האקולוגית (איור 1) באופנים שונים: שירותים המייצרים בעיקר תועלת אחת - כמו שירות אספקת מרעית לדבורי דבש שהתועלת העיקרית ממנו היא הדבש עצמו. רכיבי המגוון הביולוגי של צמחים צופנים וצמחים מייצרי אבקה הנמצאים במערכות האקולוגיות משמשים כמרעית לדבורי הדבש. לעומת זאת, ישנם שירותים שלהם תועלות רבות - כמו שירות וויסות סחיפת קרקע שתועלתו מתבטאת במיתון הירידה בפוריות הקרקע, בקיום מגוון הביולוגי שהקרקע מתחזקת, וביעילות מאגרי המים המלאכותיים שסתימתם בקרקע שנסחפה פוגעת בשירות אספקת המים שלהן; וכמו שירות אספקת עצה של מערכת יער (שמשמעה כריתת עצים) שתועלתיה רבות - עץ לבעירה, לבנייה, לריהוט ועוד. ויש גם דוגמאות למספר שירותים ששילוב ביניהם מייצר רק תועלת אחת, כמו שירות האבקה של גידול חקלאי המספק האבקה על ידי יצורים מאביקים, ורק שיתופו עם שירות האספקה של המערכת החקלאית מאפשר את יצור התועלת - המוצר החקלאי בעל הערך הכלכלי (איור 2).

שירותי התרבות מייצרים תועלות בלתי-מוחשיות המופקות מהטבע: חוויות אסתטיות ורוחניות, הזדמנויות לחינוך ולמחקר וגיבוש זהות משותפת ופרטנית של בני האדם בהשראת המפגש עם הטבע. וכך, אותו היער שהוזכר מעלה כדוגמה לתועלות הרבות משירות אספקה שלו, מספק גם שירותי תרבות המופקים באמצעות מגוון של התנסויות ואינטרקציות אנושיות עם הטבע. התנסויות אלה נשענות על אפשרויות הפנאי, הבילוי, החינוך באמצעות הטבע, המחקר המדעי וההשראה הנובעת מהמערכת האקולוגית, כאשר כל אלה עשויים לתרום גם לתחושות של זהות ושל רוחניות.

לבסוף יצוין שעוד טרם פרסומה של הערכת המילניום רווח השימוש בצימוד של "שירותים טובין" (goods and service goods) כאשר הטובין הם על פי רוב המוצרים של שירותי האספקה, שהם חומריים וסחירים. הערכת המילניום הטמיעה את הטובין בתוך השירותים, ולא איבחנה ביניהם. הערכת הממלכה המאוחדת החזירה לשימוש את ה- goods אך בפרשנות מרחיבה, הכוללת מוצרים חומריים ולא חומריים (כמו מוצרים של שירותי תרבות למשל), פרשנות שאיפשרה את האבחנה בין שירותים לבין תועלותיהם. הפרויקט הישראלי אימץ גישה זו (שבין השאר משפרת את ביצוען של הערכות כלכליות לשירותי המערכת, בהתייחס לכל אחת מתועלותיהן), אך נטש את מונח הטובין והחליפו בתועלות (למשל, תועלות שירות אספקת מרעית למקנה של מערכת החורשים והבתות הן מוצרי החלב והבשר).

9. קיום האדם ורווחתו

המניע לביצוע הערכת המילניום הייתה התובנה כי מערכות אקולוגיות תורמות לרווחת האדם, מה שמתבטא בשם פרויקט המילניום – Ecosystems and Human Well-Being. בכך ניסתה הערכה זו להטמיע את התובנה של חשיבות המערכות האקולוגיות לא רק לרוחו אלא בעיקר לעצם קיומו ורווחתו של האדם. אולם פרק הדו"ח העוסק ברווחת האדם נקרא – Ecosystem change and human wellbeing, כלומר, שינויים במערכות האקולוגיות, שרובם מידי אדם, מביאים לשינויים באספקת שרותי המערכת האקולוגית ולכן לשינויים ברווחת האדם, שינויים שבתוקף הנסיבות עשויים לתפקד כפגיעה או כתרומה לקיום האדם ולרווחתו. תפקידה של המסגרת הרעיונית של הערכת המילניום היה אפוא להמחיש את המנגנון המקשר בין המערכות (או בין הטבע המתפקד כמערכת אקולוגית) לרווחת האדם, ובכך להביא לשינוי ביחסה של החברה לטבע, ששינויים בו, מידי אדם וגם מסיבות אחרות, הם חלק נכבד מטבעו. לשם כך הקדישה הערכת המילניום מאמץ לזיהוי האופן בו כל אחד מהרכיבים השונים של רווחת האדם מושפע על ידי כל אחד מהשירותים השונים. בין רכיבי רווחת האדם נכללו הנגישות למשאבים, בטחון מפני אסונות טבע, הבסיס החומרי לחיים טובים כביטחון מזון משביע, אור ומים נקיים, בריאות, יחסים חברתיים טובים וחופש הבחירה וההזדמנויות. מכל אלה התמקד הפרויקט הישראלי רק בשלושה רכיבים של רווחת האדם – הכלכלי, הבריאותי, והחברתי. בסופו של דבר יוחדו פרקים מלאים להיבט הכלכלי ולהיבט הבריאותי וההיבט החברתי לא הבשיל כדי לעמוד כפרק מובחן, אך היבט זה מוזכר בפרקים השונים של הפרויקט בהתאם למידע שנמצא בנושא.

לעומת זאת, העצים הפרויקט הישראלי את תרומת המערכות האקולוגיות לאדם, שהן חיוניות לא רק לרווחתו אלא אף לעצם קיומו. המונח human wellbeing שבשימוש ההערכות בשפה האנגלית הוא מונח המתורגם לעברית ל"שלומות", או "מצב של הרגשה טובה ובריאות" (ההגדרה המלאה במונחון), אך המונח "רווחה" עשוי להתקשר ל"שרותי הרווחה" ואף לתת לקורא את התחושה כי שירותי המערכת האקולוגית מהווים מותרות ומספקים רק נוחות. אלא שתכולת הגזים באטמוספירה, האקלים, הייצור הראשוני כשביטוי בהפקת מזון, ואספקת המים השפירים – כולם תהליכים הנתמכים, מוסתים ומסופקים על ידי המערכות האקולוגיות המכסות את פני כדור הארץ, כולל בישראל – הינם תהליכים ותנאים ההכרחיים לעצם קיומו של האדם ולקיומם של חיים בכלל. כדי להדגיש את חשיבותם הקיומית של שירותי מערכת רבים, הומרה בפרויקט זה "רווחת האדם" ל"קיום האדם ורווחתו".

עם זאת, פרויקטי הערכת המערכות האקולוגיות אינם מנכסים לטבע ולמערכות האקולוגיות את כל היבטי קיומו של האדם ורווחתו, שכן אלה אינם נתמכים רק על ידי המערכות האקולוגיות. מאז סיומה של תקופת האבן תרמו מחצבי המתכות משמעותית לקיומו ורווחתו של האדם, ומאז המהפכה התעשייתית האנרגיה המאובנת שהופקה ממחצבי הדלקים המאובנים העצימה את רווחת האדם ללא הכר. מאגרים אלה של מתכות, דשנים כימיים ודלקים מאובנים מתקיימים במעבה האדמה או במעמקי הים, שמעליהם תכסית המערכות האקולוגיות. מהבחינה הטופוגרפית מחצבים אלה מצויים במעבה או אף על פני שטחים המתפקדים כמערכות אקולוגיות. אך משאבי טבע אלה שאינם מתחדשים, גם אינם מסופקים באמצעות תהליכים אקולוגיים עכשוויים על ידי המערכות האקולוגיות בהן הם מצויים (de Groot et al., 2002). אלה אפוא משאבי טבע מתכלים שאינם תוצרי שירותי אספקה של מערכת אקולוגית, כי אינם נוצרים באמצעות תהליכי האקולוגיים של המערכת. משום כך אין המחצבים הללו נכללים בפרויקט הערכה זה גם אם הם מופקים מאזורים המתפקדים כמערכות אקולוגיות. לדוגמה, אזור מישור רותם בנגב הוא חלק מהמערכת האקולוגית המדברית של ישראל אך הפרויקט אינו עוסק במצבם ותרומתם של מחצבי הפוספטים של האזור. ההון הטבעי (natural capital) של מישור רותם כולל את מרבצי הפוספטים המופקים באמצעות כריה, אך הוא כולל גם את התשתיות (קרקע ומים) ואת המגוון הביולוגי של המערכת האקולוגית של מישור רותם, מהם

מופקים שרותי המערכת האקולוגית המדברית על תועלתיה, שירותים מתחדשים שניתן להשתמש בהן כל עוד מאפשר האדם למערכת האקולוגית הזו לתפקד.

9.1. תועלות התרומות לרכיב הכלכלי של קיום האדם ורווחתו

התרומה לרכיב הכלכלי של קיום האדם ורווחתו מתבטאת בערך הכספי של התועלות שמפיק האדם ממערכות אקולוגיות. קיימות שיטות שונות המותאמות לחישוב תועלות כלכליות שונות המופקות משירותי המערכת האקולוגית. הערך הכספי של התועלות הנסחרות בשוק הוא מחירן בשוק (למשל, מוצרי המערכות החקלאיות) כאשר השוק תחרותי ללא עיוותים (כמו סבסוד ממשלתי). מחיר זה נקבע אפוא על ידי נכונות הצרכנים לשלם עבור התועלת ולכן משקף את ערך התועלת שהם מפיקים ממנה.

עבור חישוב ערכן של תועלות שאינן סחירות, כמו נופים או אצירת פחמן, תועלות המופקות משירותי המערכת האקולוגית שאין להן שוק, קיימות כמה שיטות עקיפות: (א) חישוב עלות אספקת התועלת על פי ההפסד הכספי מאי-הספקתה. לדוגמה, לקבלת אומדן ערך שירות האבקת גידולים על ידי דבורי בר מחשבים את ערך השוק לתוצרת חקלאית ממערכת חקלאית הסמוכה למערכת אקולוגית המספקת שירות האבקה של הגידולים החקלאיים באמצעות דבורי הבר שלה, וזאת בהשוואה לערכי שוק של תוצרת חקלאית שאינה מואבקת על ידי דבורי הבר; (ב) אומדן תועלות שרות על ידי שימוש בערכים של שווקים אחרים המבטאים תועלות אלה (חישוב העדפות נגלות). לדוגמה, חישוב ערך שירות הנוף המסופק על ידי מערכת יער הררית באמצעות חישוב פער המחירים בין חדר מלון עם מבט לנוף וחדר ללא נוף, מה שמשקף את ערך התועלת של המשתמשים בשרות נוף זה (שיטת המחירים ההדוניים); דוגמה נוספת היא השימוש בעלות הנסיעה לביקור במערכת אקולוגית מסוימת כנכונות לשלם עבור שירותי הפנאי והנופש שמספקת אותה מערכת. ניתן להעריך את שווי התועלת גם בעזרת שיטות אומדן של הנכונות לשלם המבוססת על סמך הצהרות המשתמשים ולא על סמך המעשים שלהם בפועל (שיטת ההעדפות המוצהרות). כל אלה מתייחסים למקרים בהם האדם משתמש באופן ישיר בתועלת (לרבות שימושי צריכה ושימושים שאינם לצריכה), כלומר, שיש לתועלת ערך שימושי. לעומת אלה, ישנם שירותי תרבות שהאדם לא בא איתם במגע אך הוא מפיק תועלת מעצם הידיעה על קיומם, ולכן הוא מוכן לשלם לשם שימורם. ההערכה הלאומית מתייחסת גם לשירותי מערכת "פוטנציאלים", להם אין משתמשים בהווה או אף אין מודעות לקיומם.

לבסוף חשוב להכיר במגבלות השיטות הכלכליות להערכת תרומתם של השירותים לרווחת האדם: (א) לא כל תועלות המערכות האקולוגיות ניתנות לערוך במונחים כספיים, ולא כל אלה שניתנות לערוך במונחים כספיים תורמות לרכיב הכלכלי של רווחת האדם; (ב) ההערכות הכלכליות עלולות להיות הערכות חסר משום שלא תמיד הן מבטאות את מלוא תועלתיהן לרווחת האדם – שירותים שערכם הכלכלי נמוך, ערכם לרווחת האדם גבוה ביותר אם אין להם תחליף (שירות חליפי או תחליף טכנולוגי); (ג) ערכה הכספי של כל אחת מהמערכות גבוהה מהסכום הכולל של ערכי שרותיה העכשוויים, שכן ערכם של השירותים הפוטנציאליים עפ"ר לא ניתן לחישוב, אך הם היוניים להערכת תרומת המערכות האקולוגיות לקיימותה של חברת האדם. מידע נוסף מפורט ניתן למצוא בפרק העוסק בהיבט הכלכלי (פרק 14).

9.2. תועלות התורמות לרכיב הבריאותי של קיום האדם ורווחתו

לפי הגדרת ארגון הבריאות העולמי בריאות היא מצב של רווחה פיזית, נפשית וחברתית, ולא רק העדר מחלה. לפיכך לא רק שירותי אספקה וייסות עשויים לתרום לרכיב הבריאותי של קיום האדם ורווחתו, אלא גם שירותי תרבות. לצד התרומה לבריאות הפיזית של פעילות גופנית בטבע, תיירות ופנאי, שירותי התרבות תורמים רבות לבריאות הנפשית, הרגשית והרוחנית, דרך הפעילויות הפיזיות ובאמצעות השראה אסתטית ואינטראקציות חברתיות, חינוך, הרגעות ופעילויות רוחניות ודתיות בטבע (Reid et al., 2005). מחקרים אפידמיולוגיים מראים שמערכות אקולוגיות תורמות לרווחה פיזית ונפשית אצל אוכלוסיות החיות בטבע או בקרבתו (UK-NEA, 2011). שירותי האספקה התורמים לבריאות האדם הם מים, מזון וחומרי גלם לתרופות המופקות מרכיב המגוון הביולוגי של צמחי הרפואה. שירותי הוויסות התורמים לבריאות הם שירותי ויסות של איכות האוויר, האקלים, השיטפונות וההצפות, המחלות המדבקות ואיכות המים (Reid et al., 2005). שירות ויסות (כגון טיהור מים) לא רק תורם לבריאות האדם באופן ישיר (למשל, מי שתייה נקיים), אלא גם מונע נזקים נלווים (למשל, התפשטות חיידקים נושאי מחלות). בריאות הציבור תלויה במידה רבה בצמצום פערים ואי-שוויון בבריאות (CSDH, 2008). אי-שוויון בריאותי זה מתעצם על ידי פגיעה באספקת השירותים, שלעיתים מהווה מקור עיקרי לעוני והרחבת פערים חברתיים-כלכליים (Reid et al., 2005). פירוט על כך ומידע נוסף ניתן למצוא בפרק העוסק בהיבט הבריאותי (פרק 15).

9.3. תועלות התורמות לרכיב החברתי של קיום האדם ורווחתו

ההערכה מבהירה כיצד תהליכים ושירותים של מערכות אקולוגיות יוצרים ומזינים מערכות חברתיות-אנושיות, מתפתחים במשותף עם התרבות האנושית, משפרים את היחסים החברתיים ותומכים בערכים חברתיים משותפים. לשם כך מבוצעת "הערכה חברתית" בעזרת נתונים המתקבלים מראיונות וסקרים, באמצעות צפייה בהתנהגות האנושית ו/או בעזרת לימוד הקשרים ההיסטוריים בין חברה לבין המערכת האקולוגית בה היא מתקיימת. זהויות לאומיות, קבוצות דתיות וקבוצות תרבותיות מוגדרות לעתים קרובות במונחים של יחסי הגומלין בין לבין הקרקע והמגוון הביולוגי שבסביבתן. תכניות חינוך רשמיות ובלתי-רשמיות עושות שימוש בסביבה הטבעית (נופים, המגוון הביולוגי המקומי) לשם חיזוק תחושת הפטריוטיות וגיבושן של קבוצות זיקה (Ben-David, 1997; Gordon, 2013).

הערכה חברתית מאפשרת דיון באשר לערכים אתיים, לרבות כיבוד המגוון הביולוגי כבעל תפקיד מרכזי במסגרת קיום האדם ורווחתו. הוגי דעות מסוג "Deep ecologists" טוענים כי ההגנה על המגוון הביולוגי אמורה להיות נטייה אינטואיטיבית, וזאת ללא קשר ליכולת האדם להוכיח את קיומו של שירות מהטבע. הערכה חברתית מאפשרת הכללתן של השקפות אתיות שכאלה תוך קבלתן כחלק לגיטימי מהשיח האזרחי בסוגיית שירותי המערכת האקולוגית.

10. גורמים מחוללי שינוי

חשיבותם של הגורמים מחוללי השינוי במערכות האקולוגיות על מגוון הביולוגי ומכאן באספקת שירותיהן מתבטאת בסופו של דבר בשינויים בתרומת השירותים לקיום האדם ורווחתו. פרקי המערכות ופרקים אחרים בפרויקט כוללים את הידע על **הגורמים הישירים** המחוללים שינוי באספקת שירותים שונים. בהתבסס על ידע זה פרקים אלה כוללים גם הערכה לאופן שבו משפיעים אותם גורמים ישירים על רכיבים מסוימים של המגוון הביולוגי וכיצד מתבטאת השפעה זו בשינוי ממדי השירות שאותו רכיב מעורב באספקתו. לדוגמה, האם אוכלוסייה של מין מסוים נפגעה כתוצאה משימוש בקוטלי חרקים כנגד מזונה או כתוצאה מהתמרת חלק מהמערכת הטבעית לשטח מבונה שאינו מתפקד עוד כמערכת אקולוגית. בהמשך לכך נשאלת השאלה כיצד צמצום זה בגודל האוכלוסייה הביא להאטה בשיעורי ההפקה של שרות מסוים. אבל האתגר הוא להבין מדוע החל שימוש בקוטלי חרקים ומדוע היה צורך בשטח מבונה נוסף. לשם כך יש צורך לסרוק את הידע הקיים על הגורמים מחוללי השינוי האנושיים, הכלכליים-חברתיים, כלומר את **הגורמים העקיפים**, ולנסות לזהות מי מהם הניע את הגורמים הישירים (הריסוס והבנייה בדוגמה שלעיל). הפרק העוסק בגורמים מחוללי השינוי (פרק 16) מחולק לשני חלקים. בחלק הראשון הוא מסכם ומנתח את הידע שנאסף במסגרת הפרקים השונים של הפרויקט על כל אחד מחמשת הגורמים הישירים שנבחרו לניתוח במסגרת זו – **שינוי בשימושי הקרקע, ניצול יתר של משאבים, זיהום של מים אוויר וקרקע, חדירה של מינים זרים פולשים**, והביטוי המקומי של **שינוי האקלים העולמי**. החלק השני של הפרק כולל ניתוח של מגמות סוציו-דמוגרפיות-גאוגרפיות, מגמות בכלכלה ובצמיחה, מגמות טכנולוגיות, מגמות ברגולציה ובמדיניות ומגמות תרבותיות. ניתוח המגמות בגורמים עקיפים אלה, כולל הערכה של הקשר בינם לבין הגורמים המשפיעים באופן ישיר על השינויים בשירותי מערכות אקולוגיות שונות בישראל, כלומר, הגורמים הישירים. הערכה זו של הגורמים העקיפים עשויה לסייע למקבלי החלטות ולמעצבי המדיניות להבין את הקשרים העקיפים ויחסי הגומלין שבין החלטות (או אי החלטות) בתחום מדיניות התכנון, לבין מצב המערכות האקולוגיות בכלל ומצב הפקתם של שירותי המערכת בפרט.

11. אפשרויות תגובה לשינויים במערכות האקולוגיות

פרק **תגובות מדיניות וחברה** (פרק 17) (בפרויקטים מקבילים בעולם נקרא בדרך כלל Responses או Response Options) מזהה ומתאר את פעילויות העבר וההווה אשר שימשו ומשמשות כתגובות לשינויים במערכות האקולוגיות, במגוון הביולוגי שלהן ובאספקת שירותיהן, כולל תגובות ספציפיות שמטרתם 'לטפל' בגורמים מחוללי שינוי ישירים. במסגרת הרעיונית של הפרויקט "תגובה" היא מעין מקרה פרטי של "גורם מחולל שינוי" בעצם זה שמטרתה לגרום לשינוי במערכת האקולוגית ו/או בשירותים שהיא מספקת לאדם. אולם בעוד מחוללי השינוי גורמים לפגיעה במערכות ועקב כך גם באספקת השירותים, מטרת התגובות היא לתקן פגיעות אלה או למזער אותן. כלומר, "תגובה" היא ריאקציה למצב שנתפס כמדאיג, פעילות שבאה אל מול שינויים באספקת שירותי המערכות האקולוגיות המזוהים כשינויים שליליים. התגובות אמורות להביא לשיקום אספקת השירותים ובכך לתרום להבטחת תרומתם לרווחת בני אדם.

ישנם כמה סוגים של תגובות אפשריות כאשר במקרים רבים מדובר בכלי מדיניות, בכלים בעלי אופי משפטי הכוללים החלטות ממשלה, חוקים ותקנות, וכן שינויים במערכת התכנון. גם אמנות בינלאומיות, שהן בעצמן תגובות לפגיעה במערכות אקולוגיות ובשירותיהן ברמה העולמית, מובילות לפעילות (תגובה) מקומית בתחום העיסוק של האמנה, כולל תחיקה סביבתית. מחויבויות בינלאומיות של ישראל, לרבות אמנות והסכמים בינלאומיים שישראל התומה

עליהן, וכולל התחייבויותיה במסגרת ה-OECD וארגונים בינלאומיים אחרים, גורמים להפעלת כלים שונים במסגרות הרשמיות של המדינה. גם פעילות של החברה האזרחית, שבאה לידי ביטוי בפעילויות מחאה ובהקמת אירגונים וולונטריים, ופיתוחים טכנולוגיים, שמשפרים את יעילותם של תהליכים שונים ומאפשרים הפחתה בניצול משאבי הטבע, הינם חלק משמעותי מסל התגובות האפשריות לפגיעה במערכות אקולוגיות ובשירותים שהן מספקות. במסגרת פרויקט זה זוהו מאפיינים עיקריים של התגובות בישראל, וזהו מוסדות ושחקנים מרכזיים, לרבות רשויות השלטון, החברה האזרחית והמגזר העסקי. הערכה של מידת הצלחתן של תגובות שונות וניתוח היתרונות והחסרונות שלהן, מידע בעל חשיבות עליונה לשיפור מנגנוני התגובה לפגיעה במערכות אקולוגיות ובשירותיהן, נעשו רק כאשר מידע על כך היה בידי המחברים של הפרק. פער זה, כמו גם אפשרויות להרחבת סל התגובות, נבחנו אף הם.

12. המערכות האקולוגיות של ישראל

12.1. אמות מידה לתיחומן של המערכות האקולוגיות

כל שטח קרקע או נפח מים ובו רכיבים של מגוון ביולוגי אשר מקיימים תהליכים האקולוגיים תומכים ובראשם הייצור הראשוני, מתפקד כמערכת אקולוגית. למרות שבעיני רבים המונח "מערכת אקולוגית" מתקשר ל"טבע" ו"שמורות טבע", לאמור שמערכות אקולוגיות הן מערכות טבעיות, ההגדרה שבפתיח מעניקה גם לשטחים חקלאיים ולגנים ציבוריים בערים מעמד של מערכות אקולוגיות. אם שטח טבעי משמעו שאין בו יד האדם, הרי שאין בישראל מערכות אקולוגיות טבעיות כלל, אלא רצף של ממדי מעורבות האדם בתפקודן של המערכות, החל ממעורבות מזערית, בעיקר באזורים המדבריים של ישראל (למעט שטחי האימונים האינטנסיביים), וכלה במעורבות מרבית בעיקר במרכז הארץ עם צפיפות יישוביו, בהם מצויים שטחים שחדלו מתפקודם כמערכות אקולוגיות שכן כוסו בבניינים ותשתיות. למרות קיומו של רצף זה של מעורבות האדם בטבע, פרויקט ההערכה מאבחן בין מערכות אותן הוא מכנה כ"טבעיות", כאלה שמעורבות האדם בעיצובן יחסית נמוכה, לעומת מערכות שנוצרו בידי אדם והאדם מעורב באופן אינטנסיבי בניהולן, כמו המערכות החקלאיות והמערכות של ערים ויישובים. המערכות הטבעיות מסווגות על פי אופיים של תכסית הצומח ותצורות הנוף – תולדת אופיין של התשתיות הפיזיות (מסלע, קרקע) והאקלים (גשמים, טמפרטורה) באזוריה הגיאוגרפיים השונים של ישראל. וכך, באזורי האקלים המדברי של ישראל, הנגב ומדבר יהודה, תכסית הצומח דלילה יחסית ומירב רכיבי המגוון הביולוגי מתרכזים בערוצי הנחלים, שרובם יבשים במהלך כל השנה (Safriel et al., 2005). כך שחלקים גדולים של המדרונות חושפים את המגוון הגיאולוגי של המסלע המעניק לנוף המדברי את ייחודו, ואילו תרומתו של המגוון הביולוגי לעיצוב הנוף ולערכו התרבותי על פי רוב קטנה. לעומת זאת, שאר אזורי הארץ השופים לאקלים הים-תיכוני ומאופיינים בתכסית צומח מלאה ועשירה.

גם אם הגדרתו של שטח כמערכת אקולוגית קשיחה וברורה, גבולותיה של המערכת מוצבים בשטח על ידי המשתמש במערכת ובהתאם לצרכיו. בהתייחס לצורכי פרויקט ההערכה, גבולותיה של מערכת אקולוגית יוצבו במקום בו אותה מערכת, על מגוונה הביולוגי והתועלות שהיא מספקת למשתמשים בהם, נעשית למערכת שנייה, השונה במגוון הביולוגי שלה וגם בשרותיה ובתועלותיה בממדים משמעותיים. תהליך תיחום זה עשוי להתבצע בקלות בהתייחס למערכות מים. גבולות מערכות המים כאלה של הכנרת ומפרץ אילת ותכונותיהם של מערכות אלה מאפשרים אבחנה ברורה ביניהם ובין המערכות היבשתיות בהן מערכות מים אלה מוטבעות. גם הגבולות המפרידים בין המערכות היבשתיות למערכות החקלאיות והעירוניות בעלי נראות גבוהה, גם אם גבולות אלה מאפשרים יחסי גומלין בין

המערכות השכנות ואף יותר מזה: במקרים רבים גם בין מערכות השונות מאד זו מזו קיימת תלות הדדית. למשל, מקור מי המערכת האקולוגית של אגם הכנרת וחומרי ההזנה (הנוטריינטים) שבמים אלה הן מערכות אגן הניקוז של הכנרת, המוסדות את אספקת המים לאגם. בהמשך, מי האגם משמשים להזנה של מערכת הירדן. יחד עם זאת, רובם של השטחים (והנפחים, כשמדובר במערכות המים) של כל אחת מהמערכות הללו וגם ממדי המגוון הביולוגי שבהן אינם הומוגניים בטיבם, ולכן אין הומוגניות גם בהרכב ובממדים של השירותים המסופקים על ידי מערכות אלה. לפיכך, הרזולוציה שבחר פרויקט ההערכה לצורך מיון שטחיה של ישראל למערכות אקולוגיות נקבעה בעיקר לפי ממדי השוני בהרכב המגוון הביולוגי והשוני בהרכב, בממדים ובאיכות של השירותים המסופקים על-ידי המערכות הללו.

12.2. מיקום שש מערכות העל של ישראל

על פני המפל האקלימי התלול מדרום הארץ לצפונה איבחן הפרויקט שני אזורים אקלימיים השונים זה מזה כך שמכלולי המערכות האקולוגיות של כל אחד מהם צפויים להיות שונים אלה באופן ברור, בתשתיות ובמגוון הביולוגי, בעיקר זה המהווה את תכסית הצומח. לפיכך צפוי שהמערכות הטבעיות בשני אזורים אלה תהיינה שונות בתמהיל השירותים המסופקים על ידן. לכן, לפי החלוקה לאזורי אקלים, נקבעו שתי מערכות-על טבעיות – **מערכות החבל הים-תיכוני** הכוללות את המערכות הטבעיות והנטועות (יערות נטועים) המכסות שטחים שאינם מעובדים, מבונים או מקווי מים באזורי הצפון והמרכז של המדינה, באזור האקלים הים-תיכוני; וה**מערכות המדבריות** שכוללות את המערכות הטבעיות והנטועות המכסות את שטחיה הדרומיים והמזרחיים של המדינה, למעט שטחי המערכות החקלאיות, המבונות ומערכות המים שבאזור האקלים המדברי. שתי מערכות-על אלה נבדלות זו מזו גם בתשתית הקרקע וגם באופי ובממדים של המגוון הביולוגי שלהן, שכן התהליך התומך של הייצור הראשוני של מערכתיתן מוגבל מים, מה שמתבטא בהבדלים משמעותיים בין שתי מערכות העל ברכיבי המגוון הביולוגי, בתהליכים האקולוגיים המתרחשים בהן, ולכן גם באספקת השירותים.

הגבול בין אזורי האקלים, ולכן גם בין המערכות המדבריות למערכות החבל הים-תיכוני נקבע עפ"י מדד היובשנות ($index\ aridity$) של UNEP, כאשר מערכות החבל הים-תיכוני משתרעות על פני השטחים בהם היחס בין משקעים שנתיים/אידי שנתיים (פוטנציאלי) גבוה מ- $1/5$ (0.2), והמערכות המדבריות מכסות את השטחים בהם יחס זה נמוך מ-0.2.

בשטח היבשתי של ישראל, בתוך שני אזורי האקלים, מוטבעות בכתמים שלוש מערכות-על נוספות: מערכות מקווי המים הפנים-ארציים, שהן בעיקרן מערכות טבעיות; המערכות החקלאיות; והמערכות של ערים ויישובים. לבסוף, המערכות הימיות, מערכות טבעיות אף הן, שכוללות את שני גופי הימים של ישראל, הים התיכון וראש מפרץ אילת (איור 3). להלן מפורטות אמות המידה לקביעת גבולות המערכות ולשיוך שטחים לכל אחת מהן:

מערכות המים הפנים-ארציים מוטבעות בתוך שני אזורי האקלים וכוללות את: הנחלים המקיימים זרימת איתן טבעית או נחלים בהם התקיימה זרימת איתן טבעית בעבר (בעשרות השנים האחרונות) וכיום מוזרמים בהם מים; נחלי אכזב המקיימים זרימה עונתית טבעית (זרימה המתבססת על שפיעה טבעית של מעיינות או אופקי מי תהום מקומיים גבוהים); מקווי מים גדולים – הכינרת וים המלח; מעיינות; מלחות; בריכות החורף; ביצות; מאגרי מים ובריכות דגים. מאגרים ובריכות דגים נכללים בפרק זה, על אף שנבנו ומנוהלים באופן אינטנסיבי ע"י האדם, בגלל שמאפייניהן דומים למאפייני מערכות מקווי המים הטבעיים, ולכן גם השירותים שהן מספקות דומים. [הפרויקט טבע את השם "מערכות מים פנים-ארציים" במקום "מערכות מים מתוקים", בהבחנה מהמערכות הימיות, בגין ים המלח

שמהווה אף הוא מערכת אקולוגית של מים פנימיים שאינם "מתוקים"; גם אם הוא ידוע בעולם כ"ים המוות", גם בו, וכמובן שבחופיו, מתקיים תהליך ייצור ראשוני].

המערכות האקולוגיות החקלאיות מוטבעות בתוך שני אזורי האקלים, הים תיכוני והמדברי, וכוללות שטחים מעובדים שבהם גדלים גידולים צמחיים – מטעים וכרמים של גידולים רב-שנתיים נשירים וירוקי עד, גידולי שדה המתבססים על מי גשמים בלבד (בעל) וכאלה המקבלים תוספת השקיה (שלחין), וגידולים המכוסים בבתי רשת ובחמות.

המערכות האקולוגיות של ערים ויישובים מוטבעות אף הן בתוך שני אזורי האקלים, וכוללות את כל יישובי ישראל בכל הגדלים, אזורי תעשייה ומסחר, בסיסים צבאיים וכן תשתיות בקרבת 100 מטר או פחות ליישוב. מערכות אלה הן למעשה פסיפס של *שטחים מבונים* - בנויים (בתים) וסלולים (כבישים ומדרכות) - שביניהם *שטחים פתוחים* של גינות פרטיות, קהילתיות וציבוריות, פארקים, שדרות, חורשות, שטחי בור ושטחים טבעיים.

המערכות האקולוגיות הימיות שגבולותיהן הם גבולות המים הכלכליים של ישראל גם בים תיכון וגם במפרץ אילת (מקור: האתר marineregions.org, של-Flanders Marine Institute). המערכות הימיות כוללות בתוכן גם את המערכת האקולוגית החופית, שאינה מזוהה באזור 3, בגין הרזולוציה של המפה.

12.3. ממדיהן ותכונותיהן של מערכות-העל

שטחן הכולל של המערכות היבשתיות של ישראל שהן בעיקרן טבעיות (מערכות החבל ים-תיכוני, המערכות המדבריות ומערכות מים פנים-ארציים) הוא 15,880 קמ"ר, ושטחן הכולל של המערכות הימיות (שגם הן מוגדרות כטבעיות) הוא 26,113 קמ"ר. שטחן הכולל של המערכות החקלאיות ואלה של ערים ויישובים – מערכות מלאכותיות המנוהלות בידי אדם – הוא 5821 קמ"ר. מכלול המערכות הטבעיות והמערכות החקלאיות, מוגדרים כ"שטחים הפתוחים" של ישראל, והן מכסות שטח כולל של 20,233 קמ"ר (טבלה 3). שטחן של המערכות המדבריות תופס את חלקו הארי (51.1%) של השטח היבשתי של ישראל. מערכת זו מאופיינת בכמות משקעים שנתית נמוכה יחסית (פחות מ-250 מ"מ של משקעים שנתיים) ובתנודתיות בין-שנתית גבוהה ביותר, בטמפרטורות גבוהות המובילות לאידוי-דיות פוטנציאלי גבוהים מאוד, בפערים גדולים בטמפרטורת היום והלילה, בקרקע עניה בחומר אורגני ובמינרלים, כשלכל אלה ביטוי בתכונותיו וממדיו של המגוון הביולוגי ובעיקר ברכיב התכסית הצמחית שלו. במערכות המדבריות של ישראל נכללות מערכת המדבר הצחיח-קיצון (hyper-arid, על פי מדד הצחיחות של UNEP), מערכת המדבר הצחיח (arid) ומערכת אזור המעבר (נמצא בין מערכת המדבר הצחיח ועד למגע עם מערכות החבל הים-תיכוני, אזור הקרוי לעיתים "ספר המדבר").

אזור האקלים הים-תיכוני בישראל מאופיין בחורפים גשומים ובתקופות קיץ ארוכות ויבשות. לכן המערכות האקולוגיות של החבל הים תיכוני חשופות לשריפות, שמרביתן מעשה ידי אדם (Naveh & Carmel, 2003). מדובר במערכת החורשים והבתות, במערכת היער הנטוע, ובמערכת הכורכר וחולות החוף של הים התיכון. מערכות מקווי המים הפנים-ארציים, המוטבעות בשטחי החבל הים תיכוני ובשטחים המדבריים כוללות את ים המלח – ימת מים מלוחים, ואת ימת הכינרת – של מים מתוקים, גופי מים בשטחי ביצת החולה שיובשה (אגמון ושמורת החולה), נהרות, נחלים, שלוליות חורף, מעינות, מאגרי מים מלאכותיים ובריכות דגים (טבלה 3), ומכסות יחדיו כ-3% משטח ישראל. המערכות הימיות כוללות כל אחת (ים תיכון וראש מפרץ אילת) את אזורי הכרית (גאות ושפל) על השוניות שבהם (טבלאות הגידוד בים התיכון ושונות האלמוגים באילת), ואת הים הפתוח והים העמוק.

שתי מערכות-העל שאינן טבעיות, החקלאית וזו של ערים ויישובים, מיוצגות בכתמים המוטבעים בתוך שטחי החבל הים-תיכוני ובתוך שטחי המדבריות של ישראל, כך שכל שטחה של מדינת ישראל מהווה פסיפס של מערכות אקולוגיות טבעיות, מערכות חקלאיות ומערכות יישוביות-עירוניות. שלא כמערכות הטבעיות המערכות החקלאיות והעירוניות-יישוביות מנוהלות באופן אינטנסיבי על ידי האדם: החקלאיות על מנת למקסם את אספקת המוצרים הביולוגיים בעלי הערך הכלכלי של שרותי האספקה שלהן (אך מספקות גם שרותי תרבות התורמים לרכיב היחסים החברתיים של רווחת האדם (Wood et al. 2001), והעירוניות-יישוביות (המכסות כ-6.7% משטח המדינה), מהוות פסיפס של שטחים מבונים וכתמים של מערכות אקולוגיות - גינון פרטי, פארקים, ביצות, בריכות ונחלים, המספקים שירותי מערכת אקולוגית לסביבה העירונית, כולל מגוון שרותי ויסות ובעיקר שרותי תרבות. בנוסף, תושבי הערים והיישובים מתקיימים על שטף אספקה של מוצרי שרותי האספקה של המערכות החקלאיות, בעיקר אספקת מזון (המסופקים על ידי המערכות החקלאיות של ישראל ובמידה ניכרת גם על ידי מערכות חקלאיות שמחוץ לישראל).

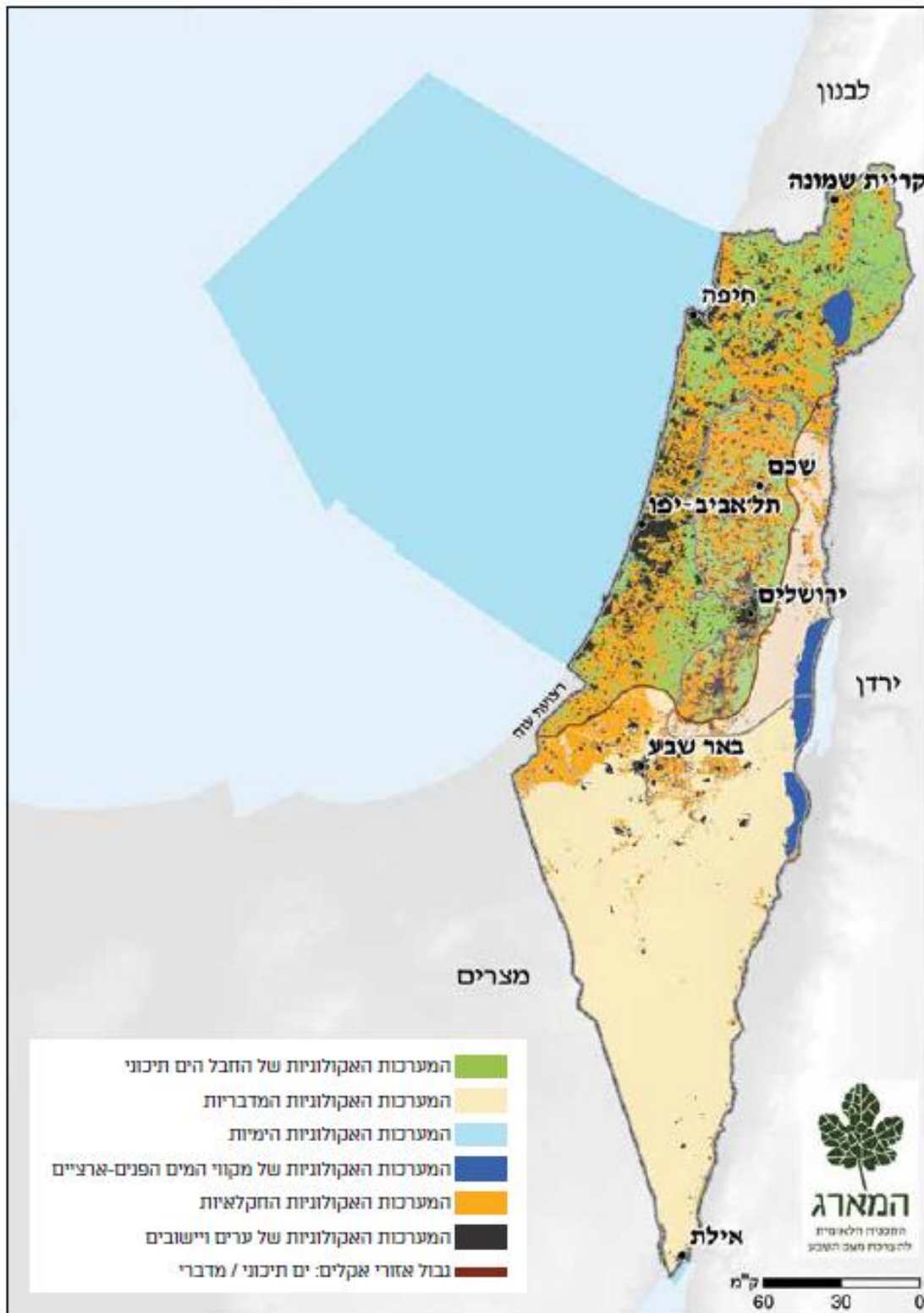
המערכות האקולוגיות החקלאיות של ישראל מכסות 20.1% מהשטח היבשתי של המדינה וכוללות בתוכן את כל סוגי הפעילויות החקלאיות הצמחיות ביבשה (טבלה 3). רוב התוצרת החקלאית הגדלה בישראל מיוצרת בתוך אזור האקלים הים-תיכוני, החלק הנותר מגיע משטחי חקלאות הנמצאים באזור האקלים המדברי. בנוסף, שתי מערכות העל שהאדם יצר ומתחזק, החקלאיות ואלה של ערים ויישובים, זקוקות ואף מקבלות שרותי ויסות חיוניים מהמערכות הטבעיות של ישראל, בעיקר אלה שבקירבתן. עם זאת, תהליכי ניהול וממשק של המערכות החקלאיות והעירוניות מייצרים גורמים מחוללי שינוי ישירים במערכות הטבעיות הסמוכות אליהן, גורמים העשויים להקטין את ממדי אספקת השירותים של המערכות הטבעיות. לדוגמה, שרותי האספקה של רוב המערכות האקולוגיות החקלאיות בישראל מתוגברים על ידי תשומות של דשנים, קוטלי-מזיקים ודלקים. זליגתם של חומרים אלה מהמערכות החקלאיות למערכות המים הפנים-ארציים משפיעה גם על המגוון הביולוגי של מערכות אלה וגם על שירות אספקת מים שפירים של מקווי המים למערכות של הערים והיישובים.

טבלה 2: פרישתן של מערכות-העל האקולוגיות כפי שנקבעו עבור פרויקט 'מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית', בשטח (קמ"ר) ובאחוז משטח המדינה.

מיקום בישראל	מערכות אקולוגיות	שטח		מערכות – על אקולוגיות
		קמ"ר	% מהשטח היבשתי	
מערכות טבעיות וטבעיות באופן חלקי *				
אזורי המרכז והצפון	חורש ויער טבעי, יער נטוע, בתות עשבוניות ושיחניות, חולות מישור החוף	3883	17.8	מערכות החבל הים תיכוני
נגב, ערבה, מדבר יהודה	מדבר צחיח קיצון, מדבר צחיח, מערכת אזור המעבר	11352	52.1	מערכות מדבריות
הים התיכון, ים סוף	הים התיכון, ים סוף	26113		מערכות ימיות
כל הארץ	אגם כינרת, ביצת החולה, בריכות חורף, ים המלח, נחלים, מעיינות, בריכות דגים ומאגרי מים	645	3	מערכות מים פנים-ארציים
מערכות שנוצרו ומתחזקות על ידי האדם				
כל הארץ	חקלאות יבשתית של צמחים – גידולים חד-שנתיים בהשקיה, גידולים חד-שנתיים בעל, גידולים רב-שנתיים, גידולים בבתי רשת וחממות	4353	20.1	מערכות חקלאיות
כל הארץ	ישובים בכל הגדלים	1468	6.7	מערכות עירוניות

* למעט מאגרי מים, בריכות דגים וחלק מהיערות הנטועים שתפקודם כולל ממשק אנושי אינטנסיבי

איור 3: שש מערכות-העל האקולוגיות של ישראל במסגרת פרויקט 'מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית' (לפירוט בתוך כל מערכת-על ראו בפרקי המערכות).



13. תלותה של ישראל במערכות אקולוגיות שמחוץ לגבולותיה

שירותי האספקה של המערכות האקולוגיות של ישראל, הטבעיות (המערכות הימיות, מקווי המים הפנים-ארציים, וכן שטחי יער ומרעה במערכות החבל הים-תיכוני ובמדבריות), והחקלאיות אינן מספקות את מלוא תצרוכת המזון, הסיבים והעצה של ישראל, וזאת למרות שישראל מייצאת מוצרים של מערכת האקולוגיות. המוצרים המיובאים המשלימים את ממדי הצריכה בישראל מסופקים על ידי מערכות אקולוגיות שונות בארצות רבות ברחבי תבל. תושבי ישראל תלויים אפוא בתפקודן של מערכות אקולוגיות מחוץ לגבולותיה, לא רק המערכות החקלאיות (מוצרי מזון וסיבים) והיעריות (מוצרי עצה) של ארצות אלה, אלא גם המערכות הטבעיות המשרתות אותן – מספקות מים, האבקה, וויסות מזיקים ועוד. החיים בעולם הגלובלי מחייבים אפוא מודעות גם למערכות אקולוגיות שמחוץ לישראל, שאוכלוסייתה צורכת את שירותיהן. לפיכך מציג הפרויקט גם את הידע הקיים על התועלות המיוצרות מחוץ לישראל ונצרכות בישראל.

- מוטר, י., צ'רט, מ., אלון, ד., אביאל, ש., מירום, ק., פלג, א., דראושה, ס., וייס, נ., עזר, א., קן, ע., קפואה, ש., ולשם, י. (2013). השימוש בתנשמות ובבזים כמדברים ביולוגיים בהקלאות. אקולוגיה וסביבה, 10:8-1.
- Abson, D.J., von Wehrden, H., Baumgärtner, S., Fischer, J., Hanspach, J., Härdtle, W., Heinrichs, H., Klein, A. M., Lang, D. J., Martens, P., Walmsley, D. (2014). Ecosystem services as a boundary object for sustainability. *Ecological Economics*, 103, 29–37.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C. and Silliman, B. R. (2010). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- Bastian, O., Haase, D. and Grunewald, K. (2012). Ecosystem properties, potentials and services – The EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecological Indicators*, 21(0), 7-16.
- Ben-David, O. (1997). Tiyul (Hike) as an Act of Consecration of Space. In: BEN-ARI, E. & BILU, Y. (eds.) *Grasping Land :Space and Place in Contemporary Israeli Discourse and Experience*. Albany: State University of New York Press.
- Cohen-Shacham, E., Dayan, T., Feitelson, E. & De Groot, R. S. (2011). Ecosystem service trade-offs in wetland management: drainage and rehabilitation of the Hula, Israel. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1582-1601.
- Collins, S. L., Carpenter, S. R., Swinton, S. M., Orenstein, D. E., Childers, D. L., Gragson, T. L., Grimm, N. B., Morgan Grove, J., Harlan, S. L., Kaye, J. P., Knapp, A. K., Kofinas, G. P., Magnuson, J. J., Mcdowell, W. H., Melack, J. M., Ogden, L. A., Robertson, G. P., Smith, M. D. & Whitmer, A. C. (2011). An Integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(6), 35-357.
- Convention on Biodiversity. (1992). *Text of the Convention on Biodiversity* [Online]. United Nations. Available: <https://www.cbd.int/convention/text/> [Accessed May 21 2015].
- Costanza, R., Wilson, M., Troy, A., Voinov, A., Liu, S., & D'Agostino, J. (2006). The Value of New Jersey's Ecosystem Services and Natural Capital. New Jersey Department of Environmental Protection.
- De Groot, R. S. (1992). *Functions of Nature: Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Groningen, Netherlands, Wolters-Noordhoff BV.
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L. C., Hein, L. & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260-272.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A. & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Dolev, A. & Perevolotsky, A. (eds.). (2004). *The Red Book: Vertebrates in Israel*, Jerusalem: The Israel Nature and Parks Authority and The Society for the Protection of Nature in Israel.
- Fisher, B., Turner, R. K. and Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. and Holling, C. S. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 557 - 581.
- Gophen, M. (2015). Management Improvement of the Agmon Wetlands System (Hula Valley, Israel) Aimed at the Enhancement of Bird Populations and Kinneret Protection. *Open Journal of Modern Hydrology*, 5(1), 9.

- Gordon, U. (2013). Olive Green: Environment, Militarism, and the Israel Defense Forces . In: Orenstein, D. E., Miller, C. & Tal, A. (eds.) *Between Ruin and Restoration: An Environmental History of Israel*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
- Haines-Young, R. and Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure.
- Haines-Young, R. & Potschin, M. (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. European Environmental Agency.
- Hambright, K. D. & Zohary, T. (1998). Lakes Hula and Agmon: destruction and creation of wetland ecosystems in northern Israel. *Wetlands Ecology and Management*, 6(2-3), 83-89.
- Jackson, J. B. C., Kirby, M. X., Berger, W. H., Bjorndal, K. A., Botsford, L. W., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R., ..., & Warner, R. R. (2001). Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science*, 293(5530), 629-637.
- Jones, C.G., Lawton, J.H., & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373-386.
- Kaplan, D., Oron, T. & Gutman, M. (1998). Development of macrophytic vegetation in the Agmon Wetland of Israel by spontaneous colonization and reintroduction. *Wetlands Ecology and Management*, 6(2-3), 143-150.
- Levin, N., Elron, E. & Gasith, A. (2009). Decline of wetland ecosystems in the coastal plain of Israel during the 20th century: Implications for wetland conservation and management. *Landscape and Urban Planning*, 92(3-4), 220-232.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., ... & Tilman, D. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294(5543), 804-808.
- Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P., Grizzetti, B., Drakou, E. G., Notte, A. L., Zulian, G., Bouraoui, F., Luisa Paracchini, M., Braat, L. & Bidoglio, G. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1(1), 31-39.
- Meyrom, K., Motro, Y., Leshem, Y., Aviel, S., Izhaki, I., Argyle, F. & Charter, M. (2009). Nest-Box use by the Barn Owl *Tyto alba* in a Biological Pest Control Program in the Beit She'an Valley, Israel. *Ardea*, 97(4), 463-467.
- Naeem, S., Chapin III, F. S., Costanza, R., Ehrlich, P. R., Golley, F. B., Hooper, D. U., Lawton, J. H., O'Neill, R. V., Mooney, H. A., Sala, O. E., Symstad, A. J. & Tilman, D. (1999). Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes. *Issues in Ecology*, 4, 1-11.
- Naveh, Z. & Carmel, Y. (2003). The evolution of the cultural Mediterranean Landscape in Israel as affected by fire, grazing, and human activities. In: Wasser, S. P. (ed.) *Evolutionary Theory and Processes: Modern Horizons*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Nevo, E., Y.-B. Fu, T. Pavlicek, S. Khalifa, M. Tavasi, & A. Beiles. (2012). Evolution of wild cereals during 28 years of global warming in Israel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 3412-3415.
- Orenstein, D. E., Groner, E., Argaman, E., Boeken, B., Preisler, Y., Shachak, M., Ungar, E. D. & Zaady, E. (2012). An Ecosystem Services Inventory: Lessons from the Northern Negev Long-Term Social Ecological Research (LTSER) Platform. *Geography Research Forum*, 32(2012), 96-118.
- Porritt, J. (2007). *Capitalism as if the world matters*. Earthscan, London.
- Raven, P. H. & Berg, L., R. (2004). *Environment*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A. K., Hassan, R., ..., & Zurek, M. B. (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. *In: Sarukhan, J. & Whyte, A. (eds.) Millennium Ecosystem Assessment*. Washington D.C.: World Resources Institute.
- Safriel, U.N. (1975) The role of vermetid gastropods in the formation of Mediterranean and Atlantic reefs. *Oecologia*, 20, 85-101.
- Safriel, U. N., Adeel, Z., Niemeijer, D., Puigdefabregas, J., White, R., Lal, R., Winslow, M., Ziedler, J., Prince, S., Archer, E. & King, C. (2005). Dryland Systems. *In: Hassan, R., Scholes, R. & Ash, N. (eds.) Millennium Ecosystem Assessment*. Washington D.C.: Island Press.
- Sagie, H., Morris, A., Rofè, Y., Orenstein, D. E. & Groner, E. (2013). Cross-cultural perceptions of ecosystem services: A social inquiry on both sides of the Israeli–Jordanian border of the Southern Arava Valley Desert. *Journal of Arid Environments*, 97(0), 38-48.
- Approach to Sequestration. *Small-scale Forestry*, 9(4), 409-428.
- TEEB. (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.
- Termorshuizen, J. & Opdam, P. (2009). Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape Ecology*, 24(8), 1037-1052.
- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M. & Siemann, E. (1997). The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes. *Science*, 277(5330), 1300-1302.
- UK-NEA. (2011). *The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings*. Cambridge, UK: UNEP-WCMC.
- Wilson, E. O. (ed.). (1988). *Biodiversity*. Washington D.C.: National Academies Press.
- Wood, S., Sebastian, K., & Scherr, S.J. (2001). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems*. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute and World Resources Institute.