

יער

כתב-עת
לניהול יערות
ושטחים פתוחים

גיליון 30 | יוני 2026 | תמוז תשפ"ו



גיליון מיוחד בנושא
שירותי המערכת האקולוגית



תוכן עניינים

3	בפתח הגיליון אייל אוסטרינסקי	מנ השטח ■	התייבשות עצים ביערות – תמונת מצב ומתווה לפעולה
4	משולחנו של מנהל אגף הייעור גלעד אוסטרובסקי	73	גלעד אוסטרובסקי, חנוך צורף, שני רוהטין-בליץ, שילי דור-חיים, מור אשכנזי, יגיל אסם
5	שירותי המערכת האקולוגית בישראל: איך רעיון גלובלי הוטמע בתוך השיח המקומי הילה שגיא, דניאל אורנשטיין	80	בעקבות חגורת השקמים ההיסטורית לאורך מישור החוף הדרומי: תבנית הנוף ושימושי קרקע בשלהי התקופה העות'מאנית ובתקופת המנדט יובל בן-בסט, רועי פורת, אליעזר באומגרטן, גיא בר-עוז
17	חשיבות המגוון הגנטי בהבטחת המשכיות שירותי המערכת של עצי היער בישראל רקפת דוד-שורץ, נטשה קינג	קצרצרים ■	שיקום אפיק משני של נחל חברון גיל סיאקי, אורנית גינת
27	שירותי מערכות אקולוגיות של יערות: מושגים, שיטות הערכה ויישומים בישראל ניר בקר	88	יער בלב העיר – קהילה בלב היער טליה בקר
37	שירותי תרבות של מערכות אקולוגיות ביערות ובחורשות יעל רם	92	עצים ששווה להכיר ■
45	מאמרים ■ יער, מים ואש – פיתוח מודל להערכת תרומתו של היער הרב-תכליתי לשירות ויסות הנגר ולהערכת השפעתן של שרפות יער עליו אלון לוטן, יואב פלד, לאה ויטנברג	96	ברכיטון הסלעים בלב העיר אביגיל הלר
57	מודל תעדוף מרחבי לטיפול בצמחים פולשים ביערות קק"ל עודד כהן, דפנה שלף, יהל פורת, שני גלייטמן, שקד לוסטגרטרן, תומר יוסף, ענת אידלמן	99	אלון השעם בגן הבוטני במקווה ישראל חגי יבלוביץ'
69	מאמרי דעה ■ שירותי המערכת האקולוגית – מה בינם לבין מגוון ביולוגי ושמירת טבע? יהושע שקדי	102	יער של ספרים ■ עתידנו המשותף, אקולוגיה ועולם המחר, מאת הנציבות העולמית של האו"ם לסביבה ולפיתוח גלעד אוסטרובסקי
		104	יער של שירים ■ זן נכחד, מאת יענקל'ה רוטבליט ענבר קמחי-אנגרט
		III	תקצירים באנגלית ■



יער

כתב-עת
לניהול יערות
ושטחים פתוחים

גיליון 30 | יוני 2026 | תמוז תשפ"ו

עורכת:

ד"ר ענת מדמוני

ועדת העורכים:

ד"ר גלעד אוסטרובסקי

ד"ר ענת מדמוני

ד"ר שני רוהטין-בליץ

חברי המערכת:

ד"ר גלעד אוסטרובסקי

ד"ר דניאל אורנשטיין

אביב אייזנבנד

ד"ר יגיל אסם

ד"ר ניב דה-מלאך

ד"ר רקפת דוד-שוורץ

אביגיל הלר

פרופ' דן יקיר

ד"ר עודד כהן

פרופ' צביקה מנדל

ד"ר דורון מרקל

עדי נוי איוניר

ד"ר הילה סגרה

ד"ר מיכאל ספרינצין

ד"ר אורית סקוטלסקי

ד"ר יקיר פרייזלר

ד"ר עידן קופלר

ד"ר תמיר קליין

אסף קרואני

ד"ר שני רוהטין-בליץ

אורי רמון

פרופ' אפרת שפר

עריכת לשון ותוכן:

ענבר קמחי-אנגרט

עריכת לשון באנגלית:

ד"ר אסתר לחמן

עיצוב גרפי:

אורית ישעיהו

כתובת המערכת:

"יער"

קרן קימת לישראל

Yaar.magazine@kklorg.il

הוצאה לאור:

קרן קימת לישראל

מנהל כיתוח הקרקע

אגף הייעור

היחידה לפרסומים, קשרי ציבור

© כל הזכויות שמורות

ISSN

2957-7403 (בדפוס)

2957-739X (באינטרנט)

אתר כתב העת "יער באינטרנט"

www.kkl.org.il/forest-online-journal

אתר קק"ל באינטרנט

www.kkl.org.il

לפרטים ולהרשמה לאירועים ביערות ובאתרי קק"ל:

קו ליער: 1-800-350-550

הצילומים בשחור-לבן המלווים את הגיליון צולמו על ידי פרופ' עוזי פז ז"ל, 1935–2025,

ביולוג ופעיל סביבה, מחלוצי שמירת הטבע בישראל

כריכה קדמית:

שימור קרקע ביער אלונים | גלעד אוסטרובסקי

כריכה אחורית (עם כיוון השעון):

סינגל יער טורען, 2020 | אילן שחם, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

צבעוני ההרים ביער בית קשת | גלעד אוסטרובסקי

לימן שבטה שופע סמוך לערוץ נחל שחר, 2025 | שלומי אמסלם, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

מטע זיתים מסורתי ביער שפר | גלעד אוסטרובסקי

מרעה כבשים, דרום אדום, 2016 | נירה צדוק, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

דבורה מאביקה פרחי איקליפטוס בגן יערני אילנות, 2014 | יוסי זמיר, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

בפתח הגיליון

קוראות וקוראים יקרים,

אני שמח להציג בפניכם את הגיליון ה-30 של "יער", כתב העת המקצועי והאקדמי של קק"ל. המציאות הביטחונית המורכבת מציבה בפנינו אתגרים אקולוגיים חסרי תקדים, ובראשם סכנת שרפות חמורה המאיימת על הריאות הירוקות שלנו. ולצד זאת, דווקא עכשיו המרחבים הירוקים, ובתוכם יערות קק"ל, הם בעלי חשיבות מוגברת כמרחבי פנאי ונופש שמסייעים לשיקום ולריפוי של אנשים וקהילות, ולכן מקבלים משנה תוקף כמרכיב קריטי בחוסן החברתי והסביבתי של מדינת ישראל.

נושא הגיליון הנוכחי, שירותי המערכת האקולוגית ביער, נוגע בליבת העשייה של קק"ל במאה ה-21. אם בעבר נתפס היער בעיקר כנכס נופי או ככלי לאחיזה בקרקע, הרי שכיום, בראייה מדעית ומודרנית, אנו מבינים כי היער הוא "מנוע חי" המספק לנו שירותים קיומיים: מוויסות האקלים ומניעת סחיפת קרקע, דרך שמירה על המגוון הביולוגי, ועד לתרומה המכרעת לבריאות הציבור ולרווחה בפעילויות הפנאי והתרבות.

הבנה זו עומדת בבסיס החלטתי להציב את הייעור והיערות בראש סדר העדיפויות הארגוני שלנו. בעידן של התמודדות עם משבר האקלים העולמי המשוואה ברורה: יותר יערות ועצים משמעותם לכידת פחמן רבה יותר, אקלים מאוזן יותר ועתיד בטוח יותר.

עלינו לפעול ביתר שאת להגדלת שטחי הייעור בישראל. אנחנו נפעל לזהות ולתכנן כל שטח שהוא פוטנציאל להגדרה כמקרקעי ייעור, ונתנגד לתוכניות של גריעת שטחי יער. בתוך שטחי הייעור נשקיע משאבים בהתמודדות עם התייבשות ועם סכנות נוספות לעצים וליער, והכול כדי להגדיל את שטחי היער ואת כמות הדונמים המיוערים והנטועים בישראל. זהו ייעוד שאני מתכוון ומבקש להימדד עליו.

לשם כך, בכוונתי למנות ועדה ציבורית מקצועית שתגבש אסטרטגיה ברורה לשמירה ולהרחבה של שטחי היער, ושתבחן את האסטרטגיה לניהול שטחי היער: היכן ננטעים, מה נטעים, וכמה נטעים, תוך מתן מענה לאתגרי ההתיישבות, לטיפול ביערות ולהתאמה למציאות האקלימית.

לצד התרומה האקלימית בהגדלת שטחי הייעור, אנו רואים חשיבות ציבורית עליונה בהנגשת היער לקהל הרחב. היער שייך לאזרחיות ולאזרחי ישראל, ומטרתנו היא להפוך אותו למזמין ואטרקטיבי יותר מתמיד: מקום שהציבור ירצה לצאת אליו. אנו מתכוונים להרחיב ולשדרג את אפשרויות הפנאי בטבע ואת האתרים קולטי הקהל ביערות קק"ל, להוסיף שבילי האופניים בכמות משמעותית, לחזק את החניונים והפארקים שלנו ולהנגיש עוד ועוד מצפורים, שבילי יער ודרכי נוף.

כמי שמחויבים למקצועיות ולניהול מונחה נתונים, אנחנו מחויבים גם להשקעה במחקר יערי מתוך הבנה שהאתגרים המשתנים מחייבים אותנו ללמוד, לחקור ולהתאים את אופן הפעילות שלנו לצורכי השעה ולאטגריה. אנחנו מחויבים לכך שקק"ל תהיה בשנים הקרובות בחזית העשייה החדשנית בטיפול ביער, ותמשיך לשמש מוקד ידע בישראל ובעולם בתחום הייעור.

אני רואה בכתב העת "יער" גשר חיוני בין המחקר האקדמי פורץ הדרך לבין היישום המעשי בשטח. המאמרים המובאים בגיליון זה, העוסקים בשירותי המערכת האקולוגית, בהכרת עצים ייחודיים ובחידושים יעריים, הם אלה המאפשרים לנו לקבל החלטות ניהוליות מושכלות, המבטיחות כי יערות ישראל ימשיכו לשגשג גם עבור הדורות הבאים.

בברכת חזק ואמץ,



אייל אוסטרנינסקי
יו"ר קרן קימת לישראל

משולחנו של מנהל אגף הייעור

קוראות וקוראים יקרים,

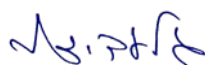
האקלימית עלולה להיות מתעתעת, אך המגמה ארוכת הטווח צריכה לעמוד לנגד עינינו: פחיתה משמעותית במשקעים והמשך העלייה בטמפרטורות עד סוף המאה הנוכחית. בסתיו ובחורף החולף היינו עדים להתייבשות עצים בהיקף נרחב ביערות הדרום והמרכז. אנו מביאים בגיליון דיווח עדכני שעולה ממנו תמונת מצב מדאיגה של תמותת עצים בהיקפים חסרי תקדים, בעיקר על רקע שינוי האקלים והחרפת תנאי היובש. תופעה זו אינה נקודתית או זמנית, אלא סימן לשינוי עומק המחייב אותנו לפעול מתוך הבנה של אי-ודאות, ולבסס ממשק יער מסתגל על פי עקרונות תורת ניהול היער.

החיבור בין המאמרים בגיליון מדגיש מסר מרכזי: שירותי המערכת האקולוגית תלויים בראש ובראשונה בבריאות ובחוסן של המערכות עצמן. כאשר היער נפגע – בין אם בעקבות בצורת, שרפות או לחצים אנושיים – נפגעת גם יכולתו לספק שירותים חיוניים לאדם, החל בוויסות אקלים מקומי ועד ערכים תרבותיים ורווחה נפשית.

מכאן נגזרת האחריות המוטלת עלינו: לנהל את היערות מתוך ראייה מערכתית ארוכת טווח, המשלבת ידע מדעי, ניסיון מצטבר והבנה עמוקה של תנאי הסביבה המשתנים. עלינו לטפח יערות מגוונים ומורכבים יותר, להישען ככל האפשר על תהליכים טבעיים, ולפעול בזירות ובשיקול דעת נוכח היקפי הפגיעה והאתגרים הצפויים בעתיד.

גיליון זה מבקש לתרום לשיח המקצועי והציבורי כאחד, ולחזק את התשתית הרעיונית והיישומית לניהול מושכל של היערות והשטחים פתוחים בישראל – למען האדם והטבע גם יחד.

קריאה נעימה,



גלעד אוסטרובסקי

היערן הראשי ומנהל אגף הייעור

גיליון זה של "יער ושטחים פתוחים" מבקש להעמיק את הדיון באחד המושגים המרכזיים בעשייה היערנית (והסביבתית בכלל) בעשורים האחרונים – שירותי המערכת האקולוגית – תוך בחינת יישומו בהקשר הישראלי והיערני בפרט. המאמר הפותח של הילה שגיא ודניאל אורנשטיין מציג מבט רחב על תהליך הטמעת המושג בישראל, ומתאר כיצד רעיון גלובלי עבר התאמה לשיח המקומי, על יתרונותיו, מגבלותיו והמתחים שהוא מעורר. הוא מדגיש כי אין מדובר רק במסגרת תאורטית, אלא בכלי עבודה המשפיע בפועל על תכנון, על ניהול ועל קבלת החלטות בשטחים הפתוחים.

מיקוד בשירותי התרבות של היערות, במאמרה של יעל רם, ממחיש את הקשר העמוק בין האדם ליער – לא רק כמקור למשאבים, אלא כמקור לרווחה נפשית, בריאותית וחברתית. הוא מזכיר לנו כי היער הוא מרחב של חוויה, השראה ושייכות, וכי הערכים האלה, שאינם תמיד ניתנים לכימות, הם חלק בלתי נפרד מהתועלת שהמערכת האקולוגית מספקת לציבור. הבנה זו מחייבת אותנו כיערנים וכמנהלי שטח לראות את היער כמערכת רב-תכליתית, המשרתת מגוון רחב של צרכים אנושיים לצד שמירת תפקודיה האקולוגיים.

המושג 'שירותי המערכת האקולוגית' הפך שגור בפי אנשי המקצוע, אך הוא מעורר גם ביקורת מקצועית בעלת חשיבות רבה. אני מזמין אתכם לקרוא את המאמרים בסדרם, להתעמק בביקורת שמנסח יהושע שקדי, ולהרחיב את ההבנה במושג ובמגבלותיו.

לצד ההכרה בתרומתם החשובה של היערות, אנו ניצבים כיום בפני אתגרים משמעותיים המחייבים חשיבה מחודשת והתאמה של דרכי ניהול היער. הדברים נכתבים באייר תשפ"ו (שלהי אפריל 2026), מספר ימים לאחר מטחי גשם עזים, ברד ושיטפונות במדבר יהודה ולקראת סיומו של חורף מבורך ועתיר גשמים ברוב שטחי הנגב. התמונה

שירותי המערכת האקולוגית בישראל: איך רעיון גלובלי הוטמע בתוך השיח המקומי

הילה שגיא^{1*} | דניאל אורנשטיין²

1 מועצה אזורית הגליל העליון
2 הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
* hilasagie23@gmail.com

תקציר

עם זאת, ההקשר הלאומי הכולל את אופן הניהול והתכנון הייחודי של השטחים הפתוחים בישראל - מדינה קטנה וצפופה, עם אחוז גבוה של אזורים צחיחים - והפרסונות/ אנשי המפתח שהובילו את השימוש במונח, עיצבו את אופן הטמעתו, והדגישו את היותו מושג מובנה חברתית וכפוף להשפעות תרבותיות ופוליטיות מקומיות ולאומיות.

מאמר זה מבקש להציג את המושג 'שירותי המערכת האקולוגית' באמצעות בחינה היסטורית של הטמעתו בישראל ויישומו במחקר, במדיניות, בניהול ובתכנון, כחקר מקרה המאפשר להבין את נקודות החוזק, המגבלות והדיונים שהתעוררו סביב המושג בשיח הבין-לאומי. אנו מתארים את ההתפתחות הכרונולוגית של המושג בישראל, תוך ניתוח הופעתו, שילובו והביקורת לגביו בתוך האקדמיה, המדיניות והשיח לגבי הניהול והתכנון של שטחים פתוחים, סביבה ונוף. התבססנו על 33 ראיונות עומק עם אנשי מקצוע רלוונטיים ועל סקירה של מסמכי מדיניות ואתרי אינטרנט של גופים מקצועיים וממשלתיים. מטרת המחקר היא, מחד גיסא, להבין כיצד ההקשר הלאומי משפיע על השימוש במושג גלובלי ומעצב אותו, ומאידך גיסא, לחזק את יכולתם של חוקרים ואנשי מקצוע ליישם את הרעיון באופן יעיל יותר בתכנון ובניהול בעתיד. ממצאי המחקר מראים כי השיח הישראלי על שמ"א משקף במידה רבה את הדיונים הגלובליים, ומציג אתגרים והצלחות דומים באימוץ המושג.

מילות מפתח

ארגוני סביבה, דיפוזיית חדשנות, ניהול שטחים פתוחים, ערך יחסי, שינוי פרדיגמה, שמירת טבע, תכנון מרחבי

מבוא

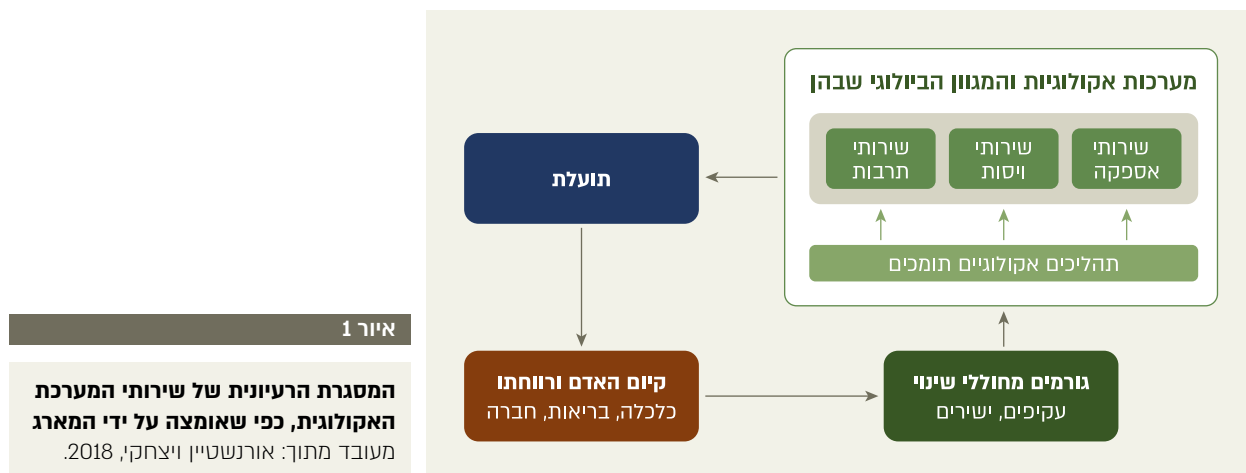
האקולוגי העולמי יחד עם שינוי האקלים האנתרופוגני ואובדן המגוון הביולוגי (Mooney et al., 2009; IPBES, 2018; Pörtner et al., 2021). הערכת שמ"א בישראל נבנתה על בסיס ההערכה הבריטית (UKNEA, 2011), השתמשה בהרבה מהמתודולוגיה שיושמה שם, ואף הביאה מומחים מההערכה הבריטית לסדנאות בישראל. לצד המסגרות האלה התפתחה בעשור האחרון גם מערכת הסיווג הבין-לאומית לשירותי מערכת אקולוגית (Common International Classification of Ecosystem Services – CICES), המשמשת תשתית מקובלת למיפוי ולסיווג שירותים במחקר ובמדיניות, בייחוד באירופה. במאמר הנוכחי אנו נשענים בעיקר על המסגרות של TEEB, MEA, וההערכה הלאומית בישראל, אך ההתפתחויות המאוחרות יותר, ובהן CICES ו-IPBES, משמשות רקע מושגי רחב להבנת ההקשר הגלובלי שהמקרה הישראלי מתפתח בו.

בהמשך למסגרת זו, ובדומה להגדרות שאומצו בדו"ח "מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית" (לוטן ואח', 2021), אנו מגדירים שירותי מערכת אקולוגית כתהליכים וכרכיבים במערכות האקולוגיות שמופקת מהם תועלת לקיום האדם ולרווחתו. את השירותים האלה נהוג לסווג לשלוש קבוצות עיקריות: (1) שירותי אספקה – אספקת מוצרים מוחשיים כגון מזון, מי שתייה, עצה וחומרי גלם נוספים; (2) שירותי ויסות – תהליכים במערכות האקולוגיות התורמים ליצירת תנאי סביבה נוחים ובטוחים יותר עבור בני אדם, למשל ויסות הכמות והאיכות של המים, מיתון אירועי קיצון אקלימיים, בקרת מזיקים והאבקה; (3) שירותי תרבות – תרומתם של רכיבי הטבע והנוף להעשרת חיי האדם באמצעות נופש, תיירות, חינוך, השראה, זהות, מורשת וחווייה רוחנית. כמו כן, קיימת קבוצה של תהליכים אקולוגיים תומכים (או שירותי תמיכה) – תהליכים בסיסיים, כגון ייצור ראשוני, יצירת קרקע ומחזור חומרי הזנה, המאפשרים את קיומן של המערכות האקולוגיות ושל שירותי האספקה, הוויסות והתרבות (איור 1).

מאמר זה בוחן כיצד הרעיון שמ"א – כפי שהוא מוגדר ומעודכן במסגרת זו – שולב ויושם בניהול שימושי הקרקע ובמדיניות הסביבתית בישראל. ישראל היא חקר מקרה מעניין במיוחד: מדינה קטנה וצפופה, בעלת מערכות אקולוגיות מגוונות, ביקוש גבוה מאוד לקרקע (כ-30 קמ"ר בשנה, בממוצע, הופכים משטחים פתוחים לשטחים מבונים, על פי נתוני המארג: בן-משה ורנן, 2022) ומספר רב של מוסדות המנהלים את השטחים הפתוחים בה (היערות, הקרקעות החקלאיות ושומרות הטבע). כמו כן, בישראל נערכה הערכה לאומית של שמ"א (לוטן ואח', 2019), כולל

שינויים בשימושי קרקע, שינוי האקלים ואובדן המגוון הביולוגי יוצרים לחץ הולך וגובר על מערכות אקולוגיות, ומגבילים את יכולתן לתמוך ברווחת האדם (Foley et al., 2005; Richardson et al., 2023). הלחצים הגלובליים האלה הביאו לקדמת הבמה את מושג שירותי המערכת האקולוגית (להלן שמ"א), בין השאר באמצעות הערכת המילניום של מערכות אקולוגיות (Millennium Ecosystem Assessment [MEA], 2005), שהציעה מסגרת מושגית לקישור בין תהליכים אקולוגיים לבין צרכים חברתיים וגם מסגרת לשילוב שיקולים סביבתיים בתכנון, במדיניות ובניהול (Braat and DeGroot, 2012; DeGroot et al., 2017). הערכת המילניום הוזמנה בשנת 2000 על ידי מזכ"ל האו"ם קופי אנאן, במטרה לבחון כיצד שינויים במערכות אקולוגיות משפיעים על רווחת האדם ולבסס תשתית מדעית לפעולה לשימור ולניהול בר-קיימא שלהן. בפריקט השתתפו כ-1,400 מדענים ומומחים מכ-95 מדינות, והוא נחשב לציון דרך מרכזי בהתפתחות השיח על שמ"א (MEA, 2005).

עם זאת, הרעיון של התלות בין מצב הטבע לרווחת האדם קדם להערכת המילניום. אזכורים מוקדמים לחשיבות של 'תועלת' או 'שירותים' שמערכות טבע מספקות לאדם הופיעו כבר בראשית שנות ה-70 (Ehrlich and Ehrlich, 1970), ואילו הדיון המפורש בהערכה כלכלית של 'שירותי הטבע' התפתח באופן בולט יותר לקראת סוף אותו עשור (Westman, 1977). החוקרים המשיכו לגבש את הרעיונות העומדים בבסיס המושג שמ"א במטרה לטפח עניין ומודעות ציבורית לחשיבות שימור המגוון הביולוגי, ובשנות ה-90 הוטמע הרעיון בספרות המקצועית ונקרא 'שירותי הטבע' או 'שירותי המערכת האקולוגית' (Mooney and Ehrlich, 1997). בהמשך, לצד הגדרת המונח בהערכת המילניום משנת 2005, אומצו הגדרות נוספות, ובהן זו של פריקט הכלכלה של המערכות האקולוגיות ושל המגוון הביולוגי של TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), ששמ"א הוגדרו בו בתור "התרומות הישירות והעקיפות של מערכות אקולוגיות לרווחת בני האדם". פריקט TEEB הדגיש במיוחד את המחיר הכבד שהמערכות האקולוגיות משלמות בעקבות מדיניות ציבורית וממשלתית המובילה לאובדן מגוון המינים, וקידם את השיח על הצורך לשקלל את תרומתן של מערכות אקולוגיות בתהליכי קבלת החלטות (TEEB, 2010). בדו"ח של הפלטפורמה הבין-ממשלתית למדע ומדיניות בתחומי המגוון הביולוגי ושירותי המערכת האקולוגית (Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) הודגשו הקשר וההשפעה של המשבר



תיאור התפתחות זו אנו מדגישים את התנאים שאפשרו למונח שמ"א להיטמע בשיח, את המתח והביקורות שעיצבו את הפרשנות לו, ואת ההזדמנויות והמגבלות לשימוש בו בעתיד בתכנון ובניהול. לבסוף, אנו מסיימים את הסקירה ההיסטורית בעדכון קצר על ההתפתחויות האחרונות בשיח וביישום המסגרת הרעיונית של שמ"א בישראל.

שיטות מחקר

מחקר זה מבוסס על גישה איכותנית משולבת, הבוחנת את תהליך הדיפוזיה של החדשנות, הפרשנות וההטמעה המוסדית של המושג שמ"א בישראל בקנה מידה לאומי. הניתוח נשען על שילוב של ראיונות עומק מובנים למחצה, ניתוח שיטתי של מסמכי מדיניות ותכנון וסקירה ממוקדת של פרסומים אקדמיים, תוך הצלבה בין מקורות המידע.

ראיונות

נערכו 33 ראיונות עומק מובנים למחצה עם אנשי מקצוע, שהיו מעורבים באופן מרכזי בהיכרות, בקידום, בביקורת או ביישום של המסגרת הרעיונית של המושג שמ"א בישראל. המראיינים נבחרו באמצעות דגימה מכוונת של מומחים (purposive sampling), ובהשלמה באמצעות שיטת 'כדור שלג', במטרה לייצג מגוון זירות מוסדיות ותקופות זמן רלוונטיות להתפתחות השיח. ניתן דגש למראיינים שהיו בעמדות מפתח בגופים ובמשרדים שונים והשתתפו בתהליך ההפצה וההטמעה של המונח שמ"א, כבר מהשלבים הראשונים של כניסתו לשיח בישראל, כדי ללמוד על היסטוריית הטמעת המונח. בין המראיינים היו חוקרים, מתכננים, מנהלי שטחים פתוחים ובעלי תפקידים בכירים במשרדי ממשלה, בגופים סטטוטוריים, בארגוני סביבה ובגופי ניהול קרקע לאומיים.

דו"ח ספציפי, "שירותי מערכות אקולוגיות בישראל – מבט-על" שיועד להיות כלי עבור קובעי המדיניות (כהן-שחם וגרוסברד, 2021), והערכה של חקר מקרה אזורי במרחב שקמה (שגיא ואח', 2016) ובמרחב הביוספרי כרמל (יצחקי ואח', 2019), מה שנותן הזדמנות לקדם את הידע שלנו דרך החוויה הישראלית באימוץ המונח שמ"א.

הבנת האופן שהמונח שמ"א אומץ אל תוך ההקשר הלאומי הזה והתפתח בו, יכולה לספק תובנות לאנשי מקצוע, לאנשי מדיניות ולחוקרים הבוחנים אם וכיצד ליישם את המסגרת הרעיונית של שמ"א בעבודתם כדי להשיג שמירת טבע וניהול מיטבי של השטחים הפתוחים בישראל.

הניתוח שלנו נשען על שתי פרספקטיבות משלימות. ראשית, תאוריית דיפוזיית החדשנות (Rogers, 1995) מסייעת להסביר כיצד רעיונות מדעיים מתפשטים, מדוע קהילות מסוימות מאמצות אותם במהירות, ומדוע אחרות מתנגדות להם או מפרשות אותם מחדש. שנית, בהישענות קלה על מושג שינוי הפרדיגמה של תומס קון (Kuhn, 1962) אנו בוחנים אם המונח שמ"א מילא תפקיד בשינוי מחשבותי בתחום הסביבה בישראל – תוך הכנסת מונחים חדשים לשיח, שיטות הערכה חדשות ונהגים מוסדיים חדשים. אין אנו מבקשים לערוך דיון פילוסופי מעמיק, אלא להשתמש במסגרות האלה באופן פרגמטי כדי לארגן ולפרש את הנרטיב ההיסטורי של התרחבות השימוש במונח שמ"א.

בהתבסס על ראיונות, על ניתוח מסמכים ועל שני עשורים של התפתחויות מקצועיות ומוסדיות, אנו מזהים ארבעה שלבים במהלך התרחבות השימוש במונח שמ"א בישראל – מהצגה אקדמית מוקדמת, דרך התרחבות מהירה והתנסויות מוסדיות, ועד לשילוב סלקטיבי ולדיון מתמשך. באמצעות

המסמכים נותחו לא רק לפי עצם הופעת המונח שמ"א בהם, אלא בעיקר לפי ההקשר שנעשה בו שימוש – כהצדקה תכנונית, ככלי ניהולי, כשיח רטורי או כמרכיב אופרטיבי. הניתוח שימש לאימות מידע שהתקבל בראיונות, לזיהוי אבני דרך מרכזיות בתהליך ההטמעה ולהבנת העומק והמשמעות של השימוש המוסדי במושג. איור 2 מבוסס על הניתוח הזה, ומציג אמירות מייצגות מאתרי אינטרנט של גופים שונים, כאינדיקציה לאופן שהמושג שמ"א אומץ בשיח המוסדי.

הציטוטים מובאים רק לצורך הדגמה, כדי להראות שהמונח שמ"א מקבל התייחסות באתרי האינטרנט של כלל הגופים הללו, ולא כדי להמחיש או לייצג את דרך התייחסות הגופים השונים למונח, אשר מופיעה בטקסט בפרק התוצאות.

סקירת פרסומים ומסגרת אנליטית

נוסף על כך, בוצעה סקירה ממוקדת של פרסומים אקדמיים של חוקרים המזהים עם מוסדות ישראליים, באמצעות חיפוש במאגרי Web of Science ו-Scopus לצורך זיהוי מגמות כלליות בהתפתחות המחקר על שמ"א בישראל. סקירה זו נועדה לשמש אינדיקציה מגמתית, ולא ניתוח ביבליומטרי ממצה (איור 3). בחנו את הופעתו של המונח שמ"א ברבים וביחיד ב-Topic (כותרת, אבסטרקט, או מילת מפתח) יחד עם ישראל בשיוך לפי מדינה/אזור של אחד הכותבים. השתמשנו בסט: TS = ("ecosystem service") AND CU = (Israel) כמו כן, בדקנו בכמה מאמרים בכל שנה הופיע המונח שמ"א בכתב העת הישראלי "אקולוגיה וסביבה", מהגיליון הראשון

הראיונות עסקו, בין היתר, בשאלות מתי וכיצד נחשפו המרואיינים לראשונה למושג שמ"א; כיצד פירשו והפעילו אותו בפועל; מהם יתרונותיו ומגבלותיו של המונח; אילו מחלוקות הוא עורר; כיצד הם מעריכים את עתידו בתכנון ובניהול שטחים פתוחים. משך הראיונות נע בין חצי שעה לשעתיים, והם הוקלטו ותומללו במלואם. חלק מהם נערכו פנים אל פנים וחלק באמצעים מקוונים.

ניתוח הראיונות בוצע בגישה איכותנית פרשנית ואיטרטיבית. הדגש לא הושם על ספירת שכיחויות כמותית, אלא על זיהוי דפוסים חוזרים, נרטיבים דומיננטיים, עמדות מוסדיות ונקודות הסכמה או מחלוקת בין מרואיינים. ההתמקדות הייתה במשמעות המושגית ובאופן שבו הובן, אומץ או נדחה המונח שמ"א בהקשרים ארגוניים שונים לאורך זמן. הניתוח מתייחס גם לשינויים לאורך זמן, לרבות תחלופה בתפקידים ובמבנים ארגוניים, כפי שהם משתקפים בעדויות המרואיינים ובמסמכים. איסוף הנתונים מהראיונות נמשך עד שהושגה רוויה תמטית, ולא עלו תובנות מהותיות חדשות.

ניתוח מסמכים ותוכן

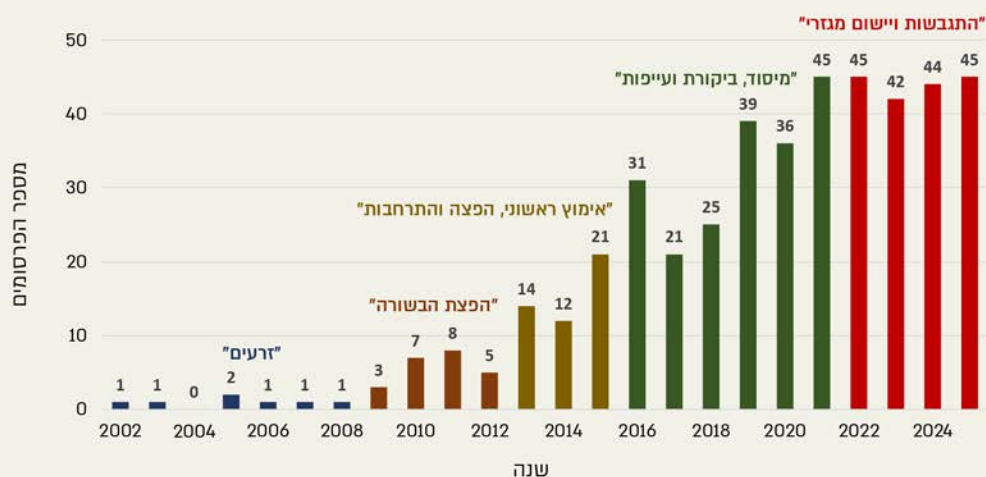
להשלמת תמונת ההטמעה המוסדית נערך ניתוח שיטתי של מסמכי מדיניות, תכנון וחקיקה, דו"חות ארגוניים, פרסומים מקצועיים ואתרי אינטרנט רשמיים. המסמכים אותרו באמצעות חיפוש מילות מפתח (בעברית ובאנגלית) במאגרי מידע כלליים, משפטיים, תכנוניים ובמאגרים באתרים של גופי שמירת טבע ומשרדי ממשלה, וכן ניתחנו חומרים שהמרואיינים הפנו אותנו אליהם.

אימוץ השיח בישראל

					
מרכז השלשון האזורי בישראל אזורית ארנון	המנהל הכללי להגנה הסביבה	המשרד להגנת הסביבה	המנהל להגנה הסביבה	רשות הטבע והגנים	רשות הטבע והגנים
מדריך לניהול השטחים הפתוחים במועצות האזוריות מתוך שיקולי מגוון ביולוגי, שירותי מערכת אקולוגית ושיקולים אקולוגיים	החקלאות נעזרת במגוון "שירותים" של מערכות אקולוגיות , חשיבות רבה לשמירה על מערכות אלו	פועל לשמירה על שטחים פתוחים באזורים בהם מסופקים שירותי מערכת	כשהטבע חנוק ומדוכא... גם בני האדם סובלים כי שירותים חיוניים שהטבע מספק לנו מתחילים	רציונאל שמירת טבע בימינו: שמירה על מערכות אקולוגיות ושירותיהן לעומת שמירת מיני דגל	ניהול יער מוכוון אספקת שירותי מערכת אקולוגית

איור 2

ציטוטים שנלקחו מאתרי האינטרנט של גופים ומשרדים העוסקים בניהול קרקע ושטחים פתוחים בישראל בנוגע לשירותי המערכת האקולוגית



איור 3

מספר הפרסומים המדעיים הבין-לאומיים שמתייחסים למונח 'שירותי המערכת האקולוגית' שפרסמו חוקרים מישראל

מגמה כללית בפרסומים מדעיים בין-לאומיים המשתמשים במונח ES בנושא (TOPIC) ובמילה "Israel" בשיוך המחבר או שנכתבו על-ידי חוקרים ישראלים – מעודכן לסוף דצמבר 2025. סינתזה בין תוצאות Scopus-I Web of Science.

של קק"ל (JNF-KKL), רשות הטבע והגנים (רט"ג; I-NPA) ומשרדי הממשלה (במסמכי תכנון ובמסמכים משפטיים). באיור 3 מוצגת כמות המאמרים שפורסמו בכתבי עת אקדמיים באנגלית שהמונח שמ"א (ES) מופיע בהם בנושא המחקר, ושמהבריהם מזהים עם ישראל על פי שיוך מוסדי או כמחברים ישראלים.

התקופה הראשונה: 1997–2008 – "זרעים"

המושג שמ"א נכנס בהדרגה לשיח הישראלי בסוף המאה ה-20 ובתחילת המאה ה-21, בעיקר דרך הקהילה האקדמית. החשיפה הראשונה הגיעה מאקולוגים שהיו מחוברים היטב לרשתות מחקר בין-לאומיות ולהערכה האקולוגית של המילניום (MEA).

פרופ' אוריאל ספריאל, שהיה מחבר מוביל בפרק המדבריות של ה-MEA, ופרופ' משה שחק, שפעל במסגרת שיתופי פעולה בין-לאומיים בפלטפורמת המחקר האקולוגי ארוך הטווח (LTER) האירופי והאמריקאי וגם עם קק"ל (למשל, ברנד ואח', 2015), מילאו תפקיד מרכזי בהכנסת המושג לשיח המדעי ולשפת המדיניות בישראל. הרצאותיהם, פרסומיהם המוקדמים ומעורבותם עם משרדי הממשלה חשפו חוקרים ואנשי מקצוע רבים למושג לראשונה.

במהלך תקופה זו הופיע המושג שמ"א באופן נקודתי במסמכי תכנון ובמסמכי ארגונים לא-ממשלתיים, בדרך

של כתב העת במהדורתו החדשה ב-2010 ועד סוף 2021. הממצאים מכל מקורות הנתונים סונתזו לנרטיב כרונולוגי של התפשטות המושג שמ"א בישראל. חלוקת התקופות נגזרה מהצטלבות של עדויות מראיונות, מסמכים ואבני דרך מוסדיות, ושימשה לזיהוי גורמים שתמכו באימוץ המונח או הגבילו אותו לאורך זמן. הניתוח נערך לפי תאוריית דיפוזיית החדשנות ובאמצעות שימוש פרגמטי ברכיבים נבחרים מתפיסת שינוי הפרדיגמה של קון, לצורך ארגון ומתן פרשנות לתהליך, ולא כהנחות מחקר לבחינה.

כמו כן, השתתפות המחברים בפורומים מקצועיים, בסדנאות ובכנסים לאורך השנים שימשה מקור הקשר משלים לפרשנות הממצאים, אך לא כבסיס נתונים עצמאי. המחקר אינו מבקש לייצג את כלל השיח הציבורי בישראל, אלא לנתח את האופן שהמושג שמ"א הובן, עוצב והוטמע בקרב שחקנים מרכזיים בזירות המדע, המדיניות והניהול.

ממצאים – הופעתו והתפשטותו של המושג שמ"א בישראל

אנו מחלקים את הנרטיב ההיסטורי לארבע תקופות עיקריות שזוהו במחקר לנוכח הראיונות, המסמכים והסדנאות שקשורים לשמ"א בישראל. כמו כן, אנו מוסיפים תת-פרק מעודכן המתאר את ההתפתחויות מאז 2022. הנרטיב עוקב אחר ארבעה מגזרים: האקדמיה, אנף הייעור

במהלך תקופה זו החלה להתגבש היוזמה להערכה הלאומית של שמ"א, שהפכה לימים ל"הערכת המערכות האקולוגיות בישראל" (לוטן ואח', 2021). המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע בישראל – הופקד על הובלת המהלך, ונפתחו פעולות הכנה: קולות קוראים למחקר, סמינרים לחוקרים ומעורבות של מומחים בין-לאומיים. כמו כן, ביוזמת יד הנדיב תורגם בתקופה זו המסמך של TEEB שהוזכר לעיל, כדי להקל על השימוש במונח בישראל (יד הנדיב, 2011). המאמצים האלה לא רק הגבירו את המודעות לשמ"א באקדמיה, אלא גם סייעו לגייס קהילה מדעית רחבה יותר אל מה שיהפוך למהלך הערכה לאומי.

סדנאות מקצועיות, דיוני מדיניות ואירועים ציבוריים תרמו להתפשטות מהירה של המושג (לפירוט ראו Sagie, 2022). מרואיינים רבים תיארו את השנים האלה כרגע ששמ"א הפכו למונח החוזר שוב ושוב בכנסים ובישיח המקצועי. משרדי ממשלה, ארגונים אזרחיים וגופי תכנון החלו להתנסות במושג, לשלבו במסמכי אסטרטגיה, בתוכניות מענקים ובהכשרות מקצועיות.

בד בבד החלו להתגבש ביקורות מוקדמות – בייחוד מצד רט"ג וחלקים מהקהילה הארגונית – שהטילו ספק בצורך לדאוג לשמ"א, מחשש שהדאגה עלולה, מבלי משים, להחליש יעדי שמירת טבע או לקדם מסגרות חשיבה כלכליות שעלולות לפגוע בהגנה על המגוון הביולוגי. הדיונים האלה רמזו על המתח המשמעותי יותר שיעלה בשנים הבאות.

בסיכומי של דבר, התקופה הזו סימנה את המעבר ממודעות אקדמית לקידום מוסדי מתואם. הונחו היסודות לאימוץ המונח בקנה מידה רחב: תקצוב ייעודי, גיבוי של המשרד להגנת הסביבה, מעורבות מדעית גוברת והקמת ההערכה הלאומית של שמ"א כפרויקט לאומי.

התקופה השלישית: 2013–2015 – "אימוץ ראשוני, הפצה והתרחבות"

השקת הערכת המערכות האקולוגיות בישראל (I-NEA) בשנת 2013 סימנה נקודת מפנה בהתפשטות המושג שמ"א בישראל. ההערכה, שהוביל המארג בתמיכת המשרד להגנת הסביבה, גייסה למעלה ממאה חוקרים ממגוון תחומים, וכן עשרות אנשי מקצוע ונציגי חברה אזרחית. עבור מרואיינים רבים הייתה המעורבות הישירה בהערכה הלאומית של שמ"א הגורם המשמעותי ביותר בהפיכת שמ"א מרעיון תאורטי למסגרת עבודה ששימשה אותם באופן פעיל.

בשנים האלה התרחב השימוש במושג שמ"א במהירות בארגונים ובתחומי מקצוע שונים. כנסים, סדנאות

כלל כחלק מדיונים רחבים יותר על נופים רב-תכליתיים. מתכננים וארגוני סביבה, ובראשם החברה להגנת הטבע ומכון דש"א החלו להתייחס לרעיונות התואמים את מסגרת שמ"א – כגון הצורך להכיר בריבוי סוגי התועלת שמספקים יערות, קרקעות חקלאיות ושטחים פתוחים. חלק מן התומכים המוקדמים התנסו גם באופן מושגי ברעיון של תשלומים עבור שירותי מערכת (PES), בטענה שיש לפצות חקלאים השומרים על נופים פתוחים בגין התועלת הציבורית שהם מספקים (שגיא, 2003). אף על פי שהמונח 'שירותי מערכת אקולוגית' עדיין לא היה בשימוש נרחב, ההיגיון שמאחוריו החל לחדור לדיוני המדיניות. תמ"א 35, למשל, הכירה באופן רשמי ברב-תכליתיות של השטחים הפתוחים, גם מבלי להשתמש במפורש במונח שמ"א. חומרי לימוד, מדריכים ודו"חות של ארגונים אזרחיים שילבו אף הם מונחים דומים, וסייעו להכיר לקהלים מקצועיים את הרעיון שממערכות אקולוגיות מופקת תועלת מגוונת לחברה.

המרואיינים זיהו בעקביות תקופה זו כרגע שנחשפו לראשונה למסגרת הרעיונית של המונח שמ"א, בדרך כלל דרך הרצאותיו וכתביו של ספריאל (למשל: ספריאל, 2001; MEA, 2005b) או במסגרת שיתופי פעולה בין-לאומיים. המושג נותר ברובו אקדמי וניסיוני, אך הונחו היסודות להתפשטות המאוחרת יותר: קבוצת תומכים קטנה ובקיהא, אזכורים מוקדמים במסמכי תכנון ובמסמכי ארגוני סביבה ועניין מוסדי שהולך ומתעורר בקישור תהליכים אקולוגיים לתועלת חברתית.

התקופה השנייה: 2009–2012 – "הפצת הבשורה"

בין השנים 2009 ל-2012 עבר המושג שמ"א מרעיון אקדמי מתהווה לנושא שקודם באופן פעיל בקהילת המדיניות הסביבתית בישראל. את השינוי הניע במידה רבה המשרד להגנת הסביבה, שהחל לבחון את רעיון שמ"א ככלי לקישור בין שמירת המגוון הביולוגי לבין תכנון וקבלת החלטות (ספריאל, 2010). בשלב זה הבינו יותר ויותר שחקנים מוסדיים את ה-MEA ואת הדוגמה של ההערכה הלאומית הבריטית (UKNEA) כמודל להמחשת האופן שבו חשיבות שמ"א יכולה להנחות מדיניות סביבתית לאומית.

דמות מרכזית במעבר זה הייתה שוב פרופ' ספריאל, שכינה כיועץ מדעי למשרד להגנת הסביבה ומילא תפקיד מכריע בשילוב שמ"א בתוכנית הלאומית למגוון הביולוגי. פעילותו סייעה לבסס את שמ"א כמסגרת שהמשרד נדרש לאמץ באופן רשמי. בהמשך הקצה אגף השטחים הפתוחים, בהובלת מנחם זלוצקי וד"ר סיניה נתניהו (המדענית הראשית של המשרד), משאבים למחקר בתחום שמ"א, מה שסימן מחויבות מוסדית מוקדמת להטמעת המושג.

במסגרת התכנון והניהול בישראל. תוכניות מתאר ארציות, מסמכי מדיניות מחוזיים ותוכניות אסטרטגיות החלו להתייחס במפורש לשמ"א, מה שהעיד על ציפייה גוברת של הגופים הירוקים כי מתכננים ומאסדרים יתחשבו בתועלת של מערכות אקולוגיות לרווחת האדם. עבור אנשי מקצוע רבים סימן הדבר שהמושג עבר מן השוליים אל ליבת השיח המוסדי, גם אם היישום הממשי של ההתייחסות אליו עוד פיגר מאחור.

גופי ניהול השטחים הפתוחים הרחיבו עוד את השימוש בשמ"א. קק"ל פיתחה תוכניות אב ליער המבוססות על שמ"א, והמשיכה לתקצב מחקר שמטרתו לשלב את המושג בתכנון יער ובשיקום שטחים. משרד החקלאות, משרד האנרגיה וגופים נוספים שילבו את המונח שמ"א בסקרים סביבתיים אסטרטגיים ובכלי מדיניות נבחרים. המשרד להגנת הסביבה מימן הערכת שמ"א ברמה האזורית, במרחב הביוספרי הר הכרמל (יצחקי ואח', 2019), שכללה שיתוף בעלי עניין בתהליך ההערכה (Sagie and Orenstein, 2022). ההתפתחויות האלה העידו על נכונות לאמץ את שפת שמ"א כחלק ממסגרות ההצדקה להחלטות בניהול שטחים פתוחים.

במקביל התגברו הביקורות. רט"ג והחברה להגנת הטבע הטילו יותר ויותר ספק אם המסגרת הרעיונית של שמ"א – בייחוד כאשר נלווים אליה כלי הערכה כלכליים – אינה מסכנת את יעדי היסוד של שמירת הטבע. הוויכוח המתמשך סביב היעור בצפון הנגב החריף את המתח: החברה להגנת הטבע טענה שניהול אספקת שמ"א וקביעת סדר עדיפויות מיושמים לפעמים באופן שמקדם פיתוח שאינו בהכרח עולה בקנה אחד עם שמירת טבע והמגוון הביולוגי (רוטשילד, 2019). בתוך מוסדות התכנון עצמם התנגדו אנשי מקצוע מסוימים למושג, מטעמים מושגיים או מעשיים-פרקטיים, והעדיפו מינוח תכנוני מבוסס (כמו 'רב-תכליתי' או 'ריבוי שימושים') או הסתייגו מהפיכת הטבע לנתון כלכלי. הרחבה בנושא אימוץ של גופי ניהול שטחים פתוחים את גישת שמ"א נמצאת אצל Sagie (2022).

אבן דרך בולטת בתהליך המיסוד נרשמה בזירה המשפטית: פסק הדין בעקבות דליפת הנפט בעמק עברונה בשנת 2014 הסתמך על הערכה שהתבססה על אובדן שמ"א לקביעת היקף הנזק הסביבתי (בקר ואח', 2019), והוביל לקנס כספי משמעותי. מהלך זה המחיש את הפוטנציאל של שמ"א להשפיע על מנגנוני פיצוי ואכיפת אסדרה.

אולם גם כאשר המונח שמ"א צבר אחיזה כלפי חוץ, החלה להופיע עייפות פנימית, מקצועית ומושגית, בקרב העוסקים בקידום וביישום של המסגרת הרעיונית של המונח. עבור

והכשרות – שהתמקדו לעיתים קרובות בכלים מעשיים, כגון מיפוי מרחבי, ניהול יער או יישומים אגרו-אקולוגיים – סייעו להכשיר את השימוש במונח ולהפכו לחלק מן הנורמה המקצועית. משרדי ממשלה וגופי ניהול שטחים החלו לשלב את השפה של שמ"א במסמכי אסטרטגיה, בהנחיות תכנון ובתוכניות מענקים. המושג הופיע גם בתדירות גוברת בפרסומים מקצועיים בעברית, מה שחיזק את נוכחותו מעבר למעגלים האקדמיים. למשל בשנת 2014 הוזכר המונח שמ"א בכתב העת אקולוגיה וסביבה בעשרה מאמרים וסקירות מדעיות מתוך כ-35 מאמרים שפורסמו בכתב העת באותה שנה (Sagie, 2022).

בתקופה זו נרשם גם אימוץ מוסדי מפורש ראשון של המושג בגופים שונים. אגף הייעור בקק"ל שילב את שמ"א בתורת ניהול היער שלו (אסם ואח', 2013) והחל לממן מחקר שמטרתו לקדם את השימוש במושג הלכה למעשה בתחום היערנות ושיקום הנוף. ארגונים נוספים, ובהם החברה להגנת הטבע, השתמשו במסגרת שמ"א לבניית סדנאות ותקשורת עם קהלים עסקיים ותכנוניים, וכך סייעו להציג את המושג בפני מקבלי החלטות שלא נחשפו אליו קודם לכן. בתקופה זו נציגים מישראל היו שותפים למחקר של הווייזון (<http://www.ecopotential-project.eu>), שהתמקד בין השאר, במושג שמ"א. במחקר היו שותפים גם גורמים מרשות הטבע והגנים, והשתתפותם הביאה להכנסת המונח שמ"א ללב השיח הסביבתי בישראל.

במקביל התחדדו קווי ביקורת ברורים יותר. החברה להגנת הטבע וחלקים מן הקהילה המדעית העלו חששות מפני שימוש בשמירה על שמ"א להצדקת ייעור במערכות אקולוגיות רגישות, בייחוד בצפון הנגב. ההערכה הראשונה של הערך הכלכלי של שמ"א ברמה הלאומית (בקר, 2013), שבוצעה מטעם המשרד להגנת הסביבה, עוררה דיון נוסף, כשגורמי שמירת טבע הזהירו כי הערכות כספיות עלולות להמעיט בערכן של מערכות טבעיות או לפשט יתר על המידה את המורכבות האקולוגית שלהן.

על אף המחלוקות הללו המגמה הכוללת בתקופה זו הייתה של התרחבות והתפשטות. המסגרת הרעיונית של שמ"א כבר לא הייתה נחלתה של קבוצת תומכים אקדמית מצומצמת; היא החלה להיות מיושמת על ידי מתכננים, יערנים, כלכלנים, הידרולוגים, חוקרי חקלאות ואנשי שמירת טבע. כך הונח הבסיס לאימוץ מוסדי רחב יותר – לצד המתח שיתלווה אליו בשנים שלאחר מכן.

התקופה הרביעית: 2016–2021 – "מיסוד, ביקורת ועייפות"

משנת 2016 ואילך הפך המונח שמ"א לנוכח יותר ויותר

מדיניות (Stern et al., 2025); בתיירות פותחו כלי שמ"א תרבותיים לניתוח דפוסי שימוש ותפיסת ערך (Ram and Smith, 2022); בחקלאות הודגשו שירותי האבקה, פוריות וטיהור כמנגנוני חוסן (האן ואח', 2025); באגף לשימור קרקע במשרד החקלאות ממשיכים לקדם תמיכות לחקלאים המשתמשים בפרקטיקות חקלאיות המשמרות קרקע, מים וסביבה, כמו תמיכה עבור צמחי שירות, חיפוי קרקע ועוד, בדומה לתשלומים עבור שמירה על שירותי מערכת אקולוגית (Payments for Ecosystem Services) שקיימים באיחוד האירופי (Plieninger et al., 2012). קפלן ורוזנפלד (2025) מציעים במאמרם יצירה של מערכת סטטוטורית לשמירת שטחים חקלאיים במסגרת התכנון הארצי ועל פי חוק התכנון והבנייה על פי מודל הערכה שמבוסס על שמ"א. בקק"ל הוגדרו שירותי היער כמטרת-על, לצד הצורך לאזן בין שירותים תומכים לשמירה על עשבוניים ועל ערכי תרבות (קפלן ואח', 2023; ניומן ודה-מלאך, 2024), וניתן לראות את השימוש במונח בחוברת החדשה שהתפרסמה בקק"ל ב-2025: "מדיניות והנחיות למניעת שרפות יער לשיקום יער לאחר שרפה". לפי ההנחיות, נטיות יבוצעו במקרים שההתחדשות הטבעית אינה מספקת את המענה הנדרש על פי השירותים האקולוגיים שתא השטח מיועד לספק לרווחת הציבור (אשכנזי ואח', 2025). כמו כן, אגמא, מרכז ידע לאגני היקוות, נגר ונחלים (agma.org.il), הציג כאחת ממטרותיו ניהול ושיקום של הנחלים בישראל כדי לשמר את תפקודם האקולוגי, להפחית סיכוני שיטפונות ולספק שמ"א. גם מכון דש"א (deshe.org.il) נעזר במונח שמ"א בסקרים אקולוגיים עבור הגדרת מטרות הסקר והדגשת חשיבות הסקר לניהול שטחים פתוחים. למשל, בסקר בתעלות בעמק החולה הוצב "ניהול שירותי מערכת בעמק כתמיכה וקיום חיים" כחלק ממטרות הסקר (שניצר ואח', 2025). בתקופה זו שמירה על שמ"א שימשה מסגרת פעולה בתחומים שונים – בנחלים ובים, באנרגיה, בחקלאות, בתיירות וביערות, ובמקביל התבססו כלים להערכת שמ"א.

ברמת התכנון, החינוך והחברה האזרחית, נוכחותם של שמ"א הולכת ומעמיקה בשיח הציבורי. תוצרי הערכת המערכות האקולוגיות בישראל משמשים תשתית ידע תכנונית חינוכית להגדרת שירותים משטחים פתוחים ולקישורם לרווחת האדם. התכנון הימי מאמץ ניהול מבוסס מערכות ושימור שירותי דיג, חקלאות ימית ואקלים במסמכי מדיניות (מנהל התכנון, 2022), ותוכנית המסדרון האקולוגי המזרחי משלבת עקרונות תפקוד וחיבוריות לשימור שירותים (המשרד להגנת הסביבה, 2022). בו-בזמן, ארגוני סביבה מאמצים את שפת שמ"א בקמפיינים של שמירת טבע, שטחים פתוחים ומערכות מזון, וכן בהרצאות של נציגיהם בקורסים ובכנסים כדי להסביר את חשיבות השטחים הפתוחים לקובעי המדיניות. במונחי

חלק מן המעורבים, עייפות זו נבעה מהמאמץ המתמשך להגדיר, להמשיג וליישם את הרעיון; עבור אחרים היא נבעה מחוסר בהירות מושגית, ממחלוקות עקרוניות או מהסתייגות מן השיח עצמו. התקדמות הערכת המערכות האקולוגיות בישראל הייתה איטית, ומחלוקות על מתודולוגיה, פרשנות והמסגור האנתרופוצנטרי של שמ"א יצרו מתחים בתוך צוות ההערכה הלאומית. ב-2017 פורסם דו"ח ביניים של ההערכה הלאומית, ועברו עוד ארבע שנים מאז עד לפרסום הדו"חות הסופיים של הממצאים (לוטן ואח', 2021) והדו"ח של "שירותי מערכות אקולוגיות בישראל – מבט-על" (כהן-שחם וגרוסברד, 2021) שנועד להמשיך ולקדם את הטמעת הדו"ח המדעי ורעיונותיו. בשנת 2019 הובילו התהליכים האלה להחלטה של ועדת ההיגוי של המארג לסגור את יחידת שמ"א במארג – אותו גוף שהוביל את ההערכה הלאומית. הסגירה סימלה עמימות רחבה יותר: המונח שמ"א זכה להכרה רחבה, אך התברר כי קשה ליצור הסכמה סביבו.

עד סוף התקופה המונח שמ"א היה משולב היטב בשיח המקצועי והוזכר במסמכי אסטרטגיה של ארגונים רבים. עם זאת, האימוץ נותר סלקטיבי ושנוי במחלוקת, והשתקף במנדטים מוסדיים שונים ובתפיסות פילוסופיות מגוונות. המושג זכה לגיטימציה, אך לא להסכמה מלאה.

התפתחויות חדשות: 2022–היום – התגבשות ויישום מגזרי

מאז 2022 החל להתגבש שלב בוגר בשיח האקדמי על שמ"א בישראל. המחקר בעולם, ובעקבות זאת גם בארץ, מתמקד פחות ברשימות שירותים ויותר בשימוש במונחים מגבילים, כגון 'פתרונות מבוססי טבע' ששם דגש על שירותי ויסות ואספקה ועל 'תרומת הטבע לאדם', ומעמיק בשירותי תרבות ובערכי ייחוס (relational values). ערכי ייחוס נגזרים מקשרים, מזהות, מתחושת שייכות וממשמעות שהאדם מפתח באמצעות יחסי גומלין עם הטבע (IPBES, 2024). מחקרי חוויית שטח מצביעים על תרגום חוויות גופניות-רגשיות לקטגוריות שירותי התרבות ולניתוח ערכי ייחוס (Teff-Seker et al., 2022), ומחקרי מדיה חברתית עושים שימוש בנתוני תמונות כמדדי נופש וערכי תרבות (Langemeyer et al., 2023). המגמות האלה מתיישבות עם הדגשת ריבוי הערכים בהערכות של IPBES, וממקמות את שמ"א ככלי מתודולוגי לעבודה עם ערכים וחוויות חיים במינוח של תרומת הטבע לאדם.

במקביל, שמ"א נטמעים במודלים מגזריים: במשק המים שולבו שירותי תרבות ואסדרה המשפיעים על הקצאות משאבים (Fleischer et al., 2025); במגזר האגרו-וולטאי שקלול של שירותי מיתון חום, מים ונוף מעצב תרחישי

דינמיקה זו מצביעה על תפקידן החזק של תרבות מוסדית ומנהיגות אישית בעיצוב תהליכי דיפוזיה של רעיונות ומתכונות מדעיות. כפי שקון מראה, דיונים ומחלוקות מלווים את התפתחותם של מונחים מדעיים חדשים וקריטיים להתהוותם (Kuhn, 1962). בעקבות דיונים ומחלוקות מצאו הגופים האלה את אופן השימוש במושג שמ"א המתאים להם, למשל ללא הערכות כלכליות, ובאופן שיתרום למטרותיהם.

ההקשר הסביבתי-תרבותי והחברתי-לאומי של ישראל השפיע באופן מהותי על האופן שמסגרת שמ"א התפתחה והוטמעה לכדי יצירת שיח חדש על היחסים בין טבע לחברה. סביבות צחיחות עודדו הרחבות של המסגרת כך שתכלול רכיבים אביוטיים, ערכי נוף ושירותי תרבות (Sagie et al., 2013; Teff-Seker and Orenstein, 2019), בעוד שמיעוט השטחים הפתוחים והלחץ הגובר לפיתוח חזקו את המשיכה למסגרת המאפשרת להצדיק הגנה על נופים פגיעים. מחקר מקומי העוסק בזיהוי שמ"א הדגיש עוד יותר את מרכזיותם של שירותי תרבות ושל קשרי אדם-נוף בהקשר הישראלי, לעיתים קרובות ללא זיקה ישירה למגוון הביולוגי עצמו (Sagie et al., 2013). בסיכומו של דבר, השפעות ההקשר המקומי לא רק עיצבו את האופן שהמושג שמ"א אומץ בישראל, אלא גם כיוונו את השימוש בו, כך שיקדם דגשים ייחודיים לשיח הישראלי על טבע וחברה.

במהלך תהליך המיסוד בשנים המאוחרות יותר ניכרו עוצמות ומגבלות. המונח שמ"א שולב במסמכי מדיניות ותכנון, ואף הופיע בזירה המשפטית – כפי שהודגם בפסק הדין על דליפת הנפט בעמק עברונה. עם זאת, מחלוקות מתודולוגיות, עייפות מושגית והבדלים בין מנדטים ארגוניים תרמו לבסוף לסגירת יחידת שמ"א במארג. מהלך זה ממחיש כי דיפוזיה רחבה אינה מספיקה; יציבות מוסדית דורשת התאמה מתמשכת בין המושג לבין צרכים ותרבות ארגונית.

לסיכום, התפתחות המסגרת הרעיונית של שמ"א בישראל תואמת תבניות שנצפו בעולם: המושג יעיל ביותר כאשר עושים בו שימוש גמיש, פרגמטי ובהתאמה להקשר, וכאשר הוא מסייע להנחות סדרי עדיפויות של ניהול שטחים. הוא אפקטיבי פחות כשהוא מוצג כפרדיגמה מחייבת או כמסגרת תאורטית אחת המתאימה לכל מצב. כפי שגם ציין דה-מלאך (2025) במאמרו בעיתון זה – "אם נגלה שהערך הכלכלי של שמורת טבע נמוך מאשר ערכו של שטח עירוני, נחליט לוותר על שמורת הטבע?". כלומר דרך שאלה רטורית גם הוא מזדיר מפני אימוץ גישות נוקשות להערכה, שהן רק כספיות, על פני שיטות הערכה מגוונות יותר. לכן, עתיד השימוש במונח בישראל תלוי ביכולתם של ארגונים ומקבלי

דיפוזיית החדשנות, התקופה מ-2022 ועד היום מאופיינת בכך שהמונח שמ"א הופך למסגרת מארגנת במדיניות, בתכנון, בחינוך ובתקשורת – פחות ככלי פעולה ישיר, ויותר כתשתית חשיבה וייחוס משותפת.

דיון ומסקנות

התפשטות המסגרת של שמ"א בישראל מדגימה כיצד רעיונות סביבתיים גלובליים נטמעים באופן מקומי באמצעות תהליכי פרשנות, התאמה ודיונים מקצועיים. בהתאם לתאוריות של דיפוזיית חדשנות (Rogers, 1995; Wejnert, 2002), אנו משתמשים במאפיינים שהוגדרו – מאפייני המושג עצמו, תפקידם ואופיים של מובילי דעה, וההקשר הסביבתי-גאוגרפי-מוסדי – כדי לדון בממצאי המחקר. בעזרת המאפיינים אנו מנתחים את ההתפתחות וההטמעה של שמ"א בישראל: התהליך היה מהיר, אך התקדם באופן לא אחיד ושנוי במחלוקת.

עבור שורה רחבה של אנשי מקצוע, שמ"א סיפקו שפה חדשה לקישור בין תהליכים אקולוגיים לבין תועלת חברתית, באופן שסייע להנגיש שיקולים סביבתיים בקבלת החלטות – בייחוד בנופים רב-תכליתיים כמו יערות, שטחים חקלאיים, אגני היקוות ושטחים עירוניים. ההערכה הלאומית למערכות אקולוגיות (I-NEA) שימשה זרז מרכזי, שחשף מאות חוקרים ואנשי מקצוע למושג ואפשר להם ליישם את מסגרת הפעולה של המונח. עם זאת, הגמישות שהפכה את המושג לאטרקטיבי גם יצרה עמימות: הבדלי הגדרות, קשיי תרגום לעברית, תחושה שהמונח כבר קיים בשמות אחרים, ומחלוקות רבות סביב השימוש בהערכות כלכליות. עמימות סביב מושג שמ"א והפער הטרימינולוגי סביבו נמצאו גם במדינות אחרות (למשל, Ryan ו-Ryan, 2013) באוסטרליה; Kerr ואח' (2021) בקנדה). עבור חלק מן הארגונים – בעיקר ארגוני שמירת טבע – העמימות נתפסה כמחלישה מסגרות שמירת טבע קיימות.

במקביל, להתערבותם של מובילי דעה הייתה השפעה ניכרת. חוקרים מובילים, ובהם פרופ' אוריאל ספריאל ופרופ' משה שחק, היו דמויות מפתח בהנעת השיח ופתיחת הדלת להתעניינות ממשלתית. באופן דומה, פרופ' רוברט ווטסון, יו"ר ההערכה הלאומית של שמ"א בבריטניה, גישר בין מדע למדיניות, וזכה להיקרא מגן (champion) מטעם ה-UKNEA (Lawton and Rudd, 2016).

לעומתם, התנגדות מצד רט"ג והחברה להגנת הטבע לאופנים מסוימים של השימוש בשמ"א, כמו הפן הכלכלי, האטה או סייגה את האימוץ בהקשרים שמרניים יותר.

העכשוויות בעולם, כגון תרומות הטבע לאדם, ערכי ייחוס ופתרונות מבוססי טבע (Welden et al., 2021) וחיבורם לשינוי האקלים יוכלו לתרום לקידום ניהול מיטבי של השטחים הפתוחים בישראל.

עבור אנשי המקצוע, הנתיב הפורה ביותר הוא נתיב פרקטי: להשתמש במונח שמ"א במקום שהוא מסייע לגשר על מחלוקות בניהול ובשיקום של שטחים וגופי מים, לחזק את התקשורת עם מקבלי החלטות או להגן על שטחים פתוחים שסובלים מלחצי הפיתוח; לעגן תשלומים עבור שמ"א לחקלאים; להימנע מהטמעת שמ"א בהקשרים שמוסיפים מורכבות בלי לשפר את התוצאות. כאשר נעשה במונח שימוש גמיש ומושכל, שמ"א יכולים להמשיך לתרום לניהול האחראי של השטחים הפתוחים בישראל, גם כאשר השיח הסביבתי הרחב ממשיך להתפתח.

החלטות לאזן בין יתרונותיו ככלי תכנוני לבין מגבלותיו המושגיות והמעשיות והאתגר בשימוש בהערכות כלכליות של שמ"א לשמירת טבע (Muradian and Gomez-Baggethun, 2021).

במבט לעתיד, קיים פוטנציאל ברור לשימוש במונח שמ"א בקבלת החלטות משולבת ושקופה יותר בנופי היער, החקלאות, העיר והנחלים בישראל – בייחוד כאשר הניהול מחייב איזון בין סוגים שונים של תועלת, ולעיתים קרובות גם הנגשת השטח לקהל. לעומת זאת, כנראה שהמושג יהיה שימושי פחות בשטחים שערכי המגוון הביולוגי עצמם הם יעד הניהול המרכזי. יעילות השימוש במושג תלויה גם בזמינותם של כלים נגשים ואמינים להערכת שמ"א, וביישום סלקטיבי של שיטות הערכה המתאימות להקשר האקולוגי והחברתי. שימוש משולב בהתפתחויות המושגיות

מקורות

כהן-שחם ע וגרוסברד ש (כתיבה ועריכה). 2021. **שירותי מערכות אקולוגיות בישראל – מבט-על**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
 לוטן א, גרוסברד ש, ספריאל א' ופייטלסון ע (עורכים). 2019. **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית, דו"ח ממצאי מפתח**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
 מנהל התכנון. 2022. **מסמך חזון ומדיניות למרחב הימי בישראל: הים התיכון**. ירושלים: משרד הפנים.
 המשרד להגנת הסביבה. 2022. **תוכנית אב למסדרון האקולוגי המזרחי: דוח מסכם**. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה.
 ניומן י ודה-מלאך נ. 2024. השפעת איקליפטוסים על הצומח בנגב המערבי – השלכות לשיקום. **אקולוגיה וסביבה**, 15(1).
 קפלן מ, שטיינגאוז מ וטל נ. 2023. התוכנית האסטרטגית ליער: מתווה עקרוני לעתיד היער בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 14(3).
 קפלן מ ורזנפלד א. 2025. באין קרקע לא תהיה חקלאות – הצעה למודל לקביעת ערכי שטחים חקלאיים כבסיס לקביעת מסגרת סטטוטורית להגנה עליהם. **אקולוגיה וסביבה**, 16(2), 69–70.
 ספריאל א. 2001. אספקת שירותי מערכות אקולוגיות לנוכח שינוי האקלים. **עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה**, 1(1), 71–96.
 ספריאל א (עורך). 2010. **התוכנית הלאומית למגוון הביולוגי בישראל**. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה.
 רוטשילד א. 2019. מ"שיפור הנוף" לשמירת המערכות האקולוגיות הטבעיות – הצורך בהפסקת פעולות ייעור בשטחים טבעיים בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 10(2), 44–46.
 שגיאה, ארז ח, רמון א, שגיאה י ווייל ד. 2016. **מדריך ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגיות בשאלות תכנון וניהול**. מחקר חלוץ ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגיות בתכנון ובניהול מרחב שקמה. מכון דש"א.
 שגיאה י. 2003. **חקלאות, סביבה, טבע, ונוף – מבט לעתיד**. בתוך קובץ מאמרים מיום עיון נקודת ח"ן.
 שניצר ע, שגב נ, ברקוביץ' ד, מרגלית נ, וינטר-בלנה ר ופרלברג א. **תעלות הירדן הראשיות בעמק החולה: סקר טבע**. דוח שלב א. מכון דש"א.

אורנשטיין ד ויצחקי ע (עורכים). 2018. **המסגרת הרעיונית**. בתוך: **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הפרקים המלאים**. 2021. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
 אסם י, ברנד ד, טאבור י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2013. תורת ניהול היער בישראל – מדיניות והנחיות לתכנון ולממשק היער. **אקולוגיה וסביבה**, 4(2), 129–130.
 אשכנזי מ, צורף ח, אוסטרובסקי ג ואסם י. 2025. **מדיניות והנחיות למניעת שרפות יער לשיקום יער לאחר שרפה**. אגף הייעור, קרן קימת לישראל. בן-משה נ ורנן א (עורכים). 2022. **דו"ח מצב הטבע 2022 – כרך מגמות ואיומים**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
 בקר נ. 2013. **הערכת שירותי המערכות האקולוגיות ברמה הלאומית לפי ייעודי קרקע לשימושים חלופיים**. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה.
 בקר נ, לביא ד, גרוס י וקרביצ'נקו מ. 2019. **הערכת הנזק הכלכלי בשמורת עברונה בעקבות הזיהום שאירע בדצמבר 2014**. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה.
 ברנד ד, משה י ושחק מ. 2015. שיקום פונקציונלי של מערכות אקולוגיות שעברו מדבור בישראל: היבטים אקולוגיים וחברתיים-אקולוגיים. **אקולוגיה וסביבה**, 16(1), 18–27.
 דה-מלאך נ. 2025. מדוע המגוון הביולוגי הוא המונח המרכזי בשמירת טבע בעשורים האחרונים? **יער**, 28, 6–7.
 האן א, אנגרט נ, טל נ וזנזורי א. 2025. חתירה לביטחון מזון תוך שמירה על השטחים הפתוחים והמגוון הביולוגי – מדיניות ליצירת חוסן. **אקולוגיה וסביבה**, 16(2).
 יד הנדב. 2011. **הכלכלה של המערכות האקולוגיות ושל המגוון הביולוגי**: שילוב הערך הכלכלי של הטבע בשיח המקובל: סינתזה של הגישה, המסקנות וההמלצות של TEEB. קמחי-אנגרט ע (מתרגמת). תרגום דו"ח TEEB מ-2010. יד הנדב.
 יצחקי ע, ויטנברג ל, חאסן י, נב מ, רביב א, שמיר ש ואח'. 2019. **הערכת שירותי המערכת האקולוגיות ורווחת האדם בשמורה הביוטופית בכרמל**. דו"ח מחקר עבור המשרד להגנת הסביבה.

- Ram Y and Smith MK. 2022. An assessment of visited landscapes using a cultural ecosystem services framework. *Tourism Geographies*, 24(4–5), 523–548.
- Richardson K, Steffen W, Lucht W, Bendtsen J, Cornell SE, Donges JF, et al. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(2458), 1–16.
- Plant R and Ryan P. 2013. Ecosystem services as a practicable concept for natural resource management: Some lessons from Australia. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9(1), 44–53.
- Plieninger T, Schleyer C, Schaich H, Ohnesorge B, Gerdes H, Hernández-Morcillo M, et al. 2012. Mainstreaming ecosystem services through reformed European agricultural policies. *Conservation Letters*, 5, 281–288.
- Pörtner HO, Scholes RJ, Agard J, Archer E, Arneth A, Bai X, et al. 2021. *Scientific Outcome of the IPBES-IPCC Co-sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change*, IPBES secretariat, Bonn, Germany. [doi:10.5281/zenodo.4659158](https://doi.org/10.5281/zenodo.4659158).
- Rogers EM. 1995. *Diffusion of Innovations*, 4th ed. New York, NY: Free Press.
- Sagie H, Morris A, Rofé Y, Orenstein DE, and 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, 38–48.
- Sagie H and Orenstein DE. 2022. Benefits of Stakeholder integration in an ecosystem services assessment of Mount Carmel Biosphere Reserve, Israel. *Ecosystem Services*, 53, 101404.
- Sagie H. 2022. The Proliferation of a Scientific Idea: Diffusion and Implementation of the Ecosystem Services Concept – an Investigation at the Regional, National, and Global Scales (PhD Dissertation). Haifa: Technion – Israel Institute of Technology. <https://orenstein.net.technion.ac.il/hila-sagie>
- Steren Y, Slater Y, Rubin OD, Fleischer A, and Kan I. 2025. Toward sustainable practices in photovoltaic and agricultural greenhouse systems: An ecosystem services framework. *Energy Economics*, 144, 108364.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.
- Teff-Seker Y and Orenstein DE. 2019. The 'desert experience': Evaluating the cultural ecosystem services of drylands through walking and focusing. *People and Nature*, 1(2), 234–248.
- Teff-Seker Y, Rasilo T, Dick J, Goldsborough D, and Orenstein DE. 2022. What does nature feel like? Using embodied walking interviews to discover cultural ecosystem services. *Ecosystem Services*, 55, 101425.
- UK National Ecosystem Assessment. 2011. *The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings*. UNEP-WCMC, Cambridge.
- Wejnert B. 2002. Integrating models of diffusion of innovations: A conceptual framework. *Annual Review of Sociology*, 28(1), 297–326.
- Welden EA, Chausson A, and Melanidis MS. 2021. Leveraging Nature-based Solutions for transformation: Reconnecting people and nature. *People and Nature*, 3(5), 966–977.
- Westman WE. 1977. How much are nature's services worth? *Science*, 197, 960–964.
- Braat LC and De Groot R. 2012. The ecosystem services agenda: Bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1(1), 4–15.
- De Groot R, Braat L, and Costanza R. 2017. A short history of the ecosystem services concept. In: Burkhard B and Maes J (Eds). *Mapping Ecosystem Services*. Sofia, Bulgaria: Pensoft Publishers.
- Ehrlich PR and Ehrlich AH. 1970. *Population, Resources, Environment: Issues in Human Ecology*. San Francisco, CA: W. H. Freeman.
- Fleischer A, Gindin I, and Tsur Y. 2025. Integrating recreational ecosystem service valuations into Israel's water economy. *Ecological Economics*, 227, 108391.
- Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, et al. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574.
- IPBES. 2018. *IPBES Guide on the Production of Assessments. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany. 44 pp.
- IPBES. 2024. *Summary for policymakers of the thematic assessment report on the underlying causes of biodiversity loss and the determinants of transformative change and options for achieving the 2050 vision for biodiversity of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. O'Brien K et al. (Eds). Bonn, Germany: IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11382230>.
- Kerr GL, Holzer JM, Baird J, and Hickey GM. 2021. Ecosystem services decision support tools: Exploring the implementation gap in Canada. *Facets*, 6(1), 1864–1880.
- Kuhn TS. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Langemeyer J, Ghermandi A, Keeler B, and van Berkel D. 2023. The future of crowd-sourced cultural ecosystem services assessment. *Ecosystem Services*, 60, 101518.
- Lawton RN and Rudd MA. 2016. Scientific evidence, expert entrepreneurship, and ecosystem narratives in the UK Natural Environment White Paper. *Environmental Science and Policy*, 61, 24–32.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005a. *Ecosystems and Human Well-being: Our Human Planet – Summary for Decision Makers*. Washington, DC: Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005b. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC, U.S.A.
- Mooney HA and Ehrlich PR. 1997. Ecosystem services: A fragmentary history. In: Daily GC (Ed), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (pp. 11–19). Washington, DC: Island Press.
- Mooney H, Larigauderie A, Cesario M, Elmquist T, Hoegh-Guldberg O, Lavorel S, et al. 2009. Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 46–54.
- Muradian R and Gómez-Baggethun E. 2021. Beyond ecosystem services and nature's contributions: Is it time to leave utilitarian environmentalism behind? *Ecological Economics*, 185, 107038.



שחפים בשמורת טבע החולה, 1968
צילום: עוזי פז, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

חשיבות המגוון הגנטי בהבטחת המשכיות שירותי המערכת של עצי היער בישראל

רקפת דוד-שורץ*¹ | נטשה קינג^{2,1}

- 1 המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
 - 2 הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים
- * rakefetd@volcani.agri.gov.il

תקציר

במרחב, כדי להבטיח את עתיד היערות. ניטור רציף של המדדים הללו חיוני לזיהוי אוכלוסיות בסיכון ולהקמת רשת של יחידות שימור גנטי באתר (*in situ*) המגובות בשימור מחוץ לאתר (*ex situ*). לסיכום, הבטחת שירותי המערכת האקולוגית לדורות הבאים תלויה ביכולתנו להפוך את המגוון הגנטי לעוגן אסטרטגי במדיניות הניהול הלאומית, תוך סנכרון עם המגמות המובילות בעולם והכרה בשונות הגנטית כפוליסת הביטוח של הטבע אל מול עתיד לא יציב.

המגוון הגנטי בעצי היער הוא תשתית בלתי נפרדת מחוסנן של המערכות האקולוגיות, והוא מאפשר את המשכיות שירותי המערכת האקולוגית שהן מספקות. בעוד שמגוון המינים מגדיר את מבנה המערכת, המגוון הגנטי בתוך המינים הוא "ארגז הכלים" האבולוציוני המאפשר להם להסתגל לשינויי אקלים קיצוניים. ללא שונות גנטית מספקת, אוכלוסיות העצים מאבדות את יכולתן להתמודד עם בצורות ומזיקים, דבר המוביל לקריסת שירותי הוויסות, האספקה והתרבות של היער. מאמצים נרחבים לניטור ולשימור גנטי הנעשים במדינות שונות מציבות סטנדרטים מדעיים לניהול יחידות שימור. הצטרפותה של ישראל למאמץ העולמי הזה היא הכרח אסטרטגי, שכן ישראל היא קצה גבול תפוצה עבור מינים רבים. האוכלוסיות המקומיות נושאות מטען גנטי ייחודי להתאמה ליובש, אך הן סובלות מקיטוע ומבידוד המגבירים את הסיכון לשחיקה גנטית. מצב זה מחייב מעבר מניטור טקסונומי פסיבי לניהול אקטיבי ומבוסס מדע. המאמר קורא להטמעת כלים גנומיים מתקדמים, המאפשרים למדוד באופן מדויק את פוטנציאל ההסתגלות

מילות מפתח

אוכלוסיות קצה, סבילות ליובש, שימור גנטי, שינוי האקלים

שירותי המערכת האקולוגית של עצי היער כתלות במגוון המינים

עצי היער מספקים מגוון רחב של שירותי מערכת אקולוגית חיוניים הניתנים לסיווג לשלוש קטגוריות מרכזיות (לוטן ואח', 2019; 1) **שירותי אספקה** – העצים מהווים מקור למשאבים חומריים. הם צוברים ביומסה, משמשים מקור למזון ולמרעה עבור בעלי חיים ודבורי דבש, ומהווים מאגר קריטי של משאבים גנטיים הנחוצים להשבחת מיני תרבות ולשימור המגוון הביולוגי. (2) **שירותי ויסות** – בשל ממדיהם הגדולים יש לעצים תפקיד מכריע בוויסות תהליכים אקולוגיים וביו-גאופיזיים רבים המקיימים את המערכת. נוכחותם ממתנת את קרינת השמש ומשפיעה על משטרי הרוח והלחות, ובכך תורמת לוויסות אקלים מקומי (שפיר ואח', 2018). יתרה מכך, המבנה המורכב של צמרות עצים סמוכות בגבהים משתנים מייעל את הסעת החום מפני הקרקע אל האטמוספירה (Chapin FS III et al., 2011). העצים פועלים כמבלע למזהמים דרך ספיגה אקטיבית בפיוניות (Manes et al., 2012) ודרך שקיעה פסיבית של חלקיקים על פני העלים והגזעים (Singer et al., 1996). מערכות השורשים המסועפות מייצבות את הקרקע מתחת לפני השטח, מונעות סחיפה וממתנות שיטפונות על ידי האטת הנגר העילי והגברת חלחול המים לעומק הקרקע. (3) **שירותי תרבות** – מעבר לתועלת הפיזית, היערות מספקים תועלת שאינה מוחשית. הנוף המיוער מהווה מוקד לחינוך, מחקר, נופש ופנאי, וברמה עמוקה יותר, עצים עתיקים נושאים מטען היסטורי ודתי כ"עצים מקודשים", המהווים סמלי תרבות ומוקדי עלייה לרגל (שפיר ואח', 2018).

איכותם וכמותם של שירותי המערכת האקולוגית שעצי היער מספקים תלויה במידה רבה במגוון מיני העצים. במחקר רחב היקף שבחן 84 מיני עצים, הכוללים רחבי עלים ומחטניים, ושהתבסס על ניתוח של 7,498 חלקות יער טבעיות ברחבי קנדה שנוטרו לאורך תקופה ממוצעת של שלושה עד ארבעה עשורים, נמצא כי מגוון מינים גבוה מעלה את פוריות המערכת (Ding et al., 2024). במחקר אחר, כגון ייצור ביומסה עצית, לכידת פחמן, יבול, פוטנציאל לציד (כשירות תרבות), עושר מינים בתת-היער ונוכחות של עצים מתיים. המחקר בחן את השפעתם של שישה מינים מרכזיים: אשוחית נורווגית (*Picea abies*), אורן היערות (*Pinus sylvestris*), לבנה (*Betula spp.*), אלון אנגלי (*Quercus robur*), צפצפה מצויה (*Populus tremula*) ואשור (*Fagus sylvatica*). הממצאים הראו עלייה ברורה בתפקוד ובשירותי המערכת האקולוגית בעומדים בעלי

חמישה מיני עצים בהשוואה לעומדים חד-מיניים של מין בודד מתוך הרשימה שנבחנה. המחקר הדגיש כי מיני עצים שונים מספקים מגוון תפקודי משלים, ולכן צמצום מגוון המינים עשוי להוביל לירידה תלולה בכלל שירותי המערכת האקולוגית (Gamfeldt et al., 2013). במחקר שנערך בחמישה אתרים לאורך המכל האקלימי בישראל (מהר מירון ועד עבדת), נמצא כי מגוון המינים המעוצים (שיחים ועצים) מכתוב את התפלגות המים והנטריינטים בקרקע. המינים האלה פועלים כ"מווסתי נוף" (Landscape modulators) שיוצרים כתמיות של משאבים, ובכך מחזקים את היציבות התפקודית של המערכת כולה (Shachak et al., 2008). במקרים שתוארו לעיל, נמצא כי יחסי גומלין משלימים בין המינים הם המפתח לניצול יעיל של משאבים ולהגברת העמידות בפני עקות ביוטיות ואביוטיות. הממצאים האלה מחזקים את הטענה כי בניהול יערות בר-קיימא יש לתת דגש למגוון מינים שמגדיל את המגוון התפקודי, שכן השילוב התפקודי הוא שמבטיח את יציבות הפוריות ואת המשכיות שירותי המערכת האקולוגית לאורך זמן (Gamfeldt et al., 2013; Ding et al., 2024).

המגוון הגנטי כמרכיב בסיסי בתפקוד המערכת האקולוגית

מגוון המינים הוא רק רובד אחד ממה שמכונה המגוון הביולוגי, מושג שהתגבש והתפתח בשלהי המאה ה-20, ומתייחס לרב-שכבתיות של עולם החי, החל מהמערכת האקולוגית ככלל, דרך יחסי הגומלין בין המינים, ועד לרובד היסודי ביותר שהוא המגוון הגנטי הקיים בתוך כל מין ומין (Noss, 1990). הגדרה היררכית זו, הכוללת רכיבים גנטיים, טקסונומיים ותפקודיים, הניחה את היסוד להבנה כי חוסן המערכת תלוי במגוון התורשתי המצוי בתוכה. המסגרת המשפטית הבין-לאומית למושג זה נוסדה באמנה בנושא המגוון הביולוגי (Convention on Biological Diversity; CBD) משנת 1992, שהגדירה את המגוון הגנטי בתוך המינים (Diversity within species) כאחד מעמודי התווך של השימור העולמי (Secretariat of the CBD, 2011). בשנת 2022 עודכנה תפיסה זו באמנת קונמינג-מונטריאול (Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework) KMGBF, שהיא העדכון האופרטיבי המשמעותי ביותר לה (Stephens, 2023). מסמך זה מציב יעדים שאפתניים לשנים 2030 ו-2050, תוך מתן דגש מיוחד על שימור המגוון הגנטי ככלי קריטי להבטחת יכולת ההסתגלות של המינים לשינוי האקלים ולמניעת קריסה ביולוגית (Hébert et al., 2025). עם זאת, אל מול הצהרות הכוונות האלה ניצבת מציאות מורכבת: מטא-אנליזה רחבת היקף שפורסמה לאחרונה, והתבססה על אלפי מחקרים שבחנו קשת

על העדפות התזונה של בונים (*Castor canadensis*), הבוחרים באופן סלקטיבי להשתמש בעצים בעלי ריכוז טנינים נמוך למאכל ולבניית סכרים. פעילות סלקטיבית זו לא רק מאפשרת את שגשוגם של הבונים כמין מפתח, אלא משנה את הרכב היער לטובת עצים עתירי טנינים. שינוי זה משפיע בתורו על האינטראקציות של העצים עם חרקים ועל קצב פירוק החומר האורגני בקרקע. כך, הבדלים גנטיים עשויים להכתיב את תפקוד המערכת האקולוגית כולה (Bailey et al., 2004).

חשיבותו של המגוון הגנטי קשורה קשר הדוק לגודל האוכלוסייה האפקטיבית (N_e – Effective Population Size). המושג הזה אינו מתייחס למספר הפרטים בשטח בלבד, אלא למספר הפרטים שתורמים בפועל את המטען הגנטי שלהם לדור הבא, ובכך מבטיחים את שימור השונות הגנטית באוכלוסייה (Frankham et al., 2014). ככל שהאוכלוסייה האפקטיבית גדולה יותר, נמנעת שחיקה גנטית (אובדן מקרי של גרסאות גנטיות), ונשמר פוטנציאל ההסתגלות של המין אל תנאי סביבה משתנים. לעומת זאת, באוכלוסיות קטנות גוברת השפעתה של הסחפיפה הגנטית. במצב זה יש לאירועים מקריים (כמו מוות של פרט טרם התרבותו) השפעה דרמטית על מאגר הגנים של הדור הבא, והדבר מוביל לצמצום המגוון הגנטי. עבור מנהלי השטח, המגוון הגנטי אינו עוד מושג תאורטי, אלא נכס מדיד ובר-כימות. השמירה עליו נתפסת כיום כחובה מקצועית וערכית, המהווה את "תעודת הביטוח" של המערכת האקולוגית אל מול פני העתיד.

מידת המגוון הגנטי

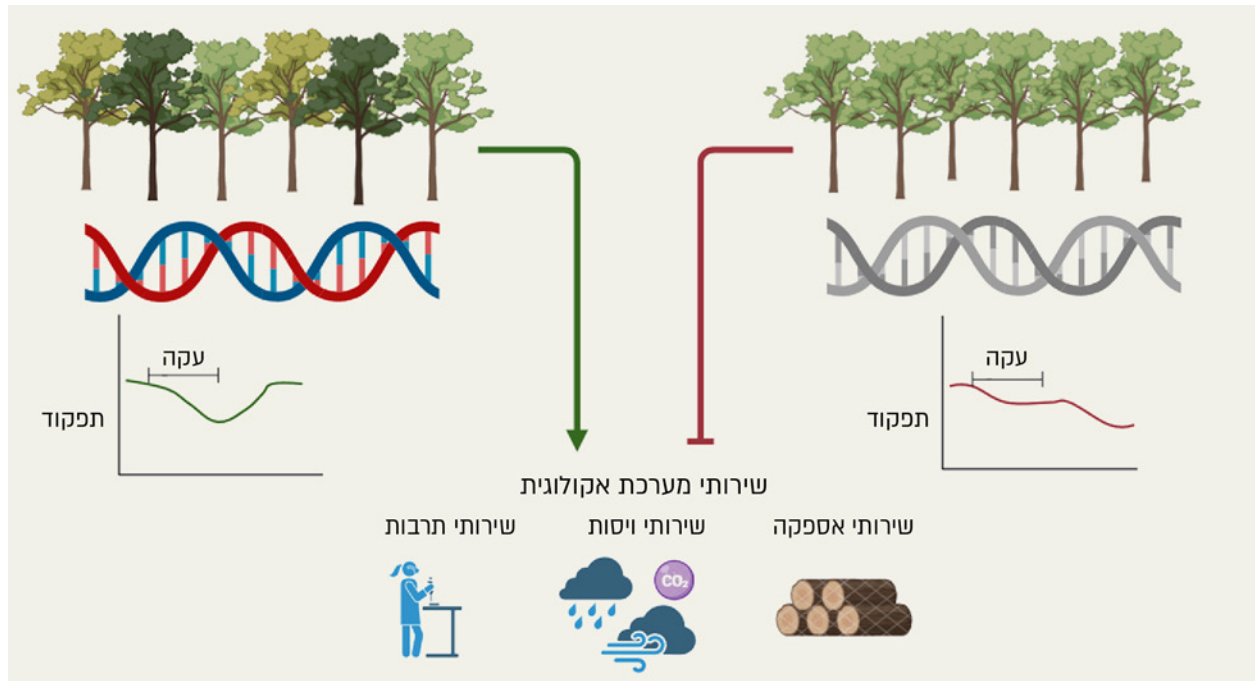
הערכת המגוון הגנטי של מין מסוים נשענת על זיהוי הבדלים ב-DNA בין פרטים שונים. הניסיונות הראשונים לאפיין את המגוון הגנטי התבססו על בחינת שונות בחלבונים (איזוזימים), אך היא סיפקה תמונה חלקית בלבד. עם התפתחות הביולוגיה המולקולרית עבר המוקד לשימוש בסמני DNA, שהם מעין סימני דרך לאורך הגנום. תחילה התבסס המחקר המולקולרי על סמני DNA מהדור הישן, כגון AFLP ו-RAPD, שאפשרו אומנם לסרוק את הגנום כולו ולזהות מספר רב של אתרים המעידים על שונות גנטית, אך פעלו בשיטה דומיננטית של "נוכחות או היעדרות" בלבד, כך שלא ניתן לקבוע אם התכונה הורשה משני ההורים או רק מאחד מהם. לכך נוספו מגבלות טכניות, כגון מורכבות הביצוע הגבוהה של AFLP והקושי בקבלת תוצאות הדירות בשיטת RAPD. כיום המעבר לשימוש בטכנולוגיות ריצוף מהיר (Next Generation Sequencing – NGS) מוביל לשימוש בסמנים קו-דומיננטיים מתוחכמים יותר, דוגמת SNP ו-SSR, המאפשרים "לראות" את שתי הגרסאות של

רחבה של אורגניזמים, חושפת מגמת הצטמצמות מדאגיה של המגוון הגנטי בתוך אוכלוסיות ברחבי העולם. ממציא המחקר מלמדים כי לא תמיד קיים מתאם חיובי בין עושר המינים למגוון הגנטי שלהם; ייתכנו מקרים של עושר מינים גבוה באתר מסוים, בעוד שהאוכלוסיות שמרכיבות אותו סובלות מדלדול גנטי המערער את חוסן התורשתי (Shaw et al., 2025). הנתונים האלה מחזקים את הטענה כי לצורך הבטחת יציבות אקולוגית לא ניתן להסתמך באופן בלעדי על מדדים טקסונומיים של עושר מינים. הממצאים מדגישים כי נסיגה זו, שהתרחשה בארבעת העשורים האחרונים כתוצאה ישירה של לחצי פעילות אנושית, אינה פוסחת גם על אוכלוסיות שאינן מוגדרות בסכנת הכחדה חמורה. מדובר בתופעה עולמית רחבת היקף, המערערת את יכולת ההתאוששות של מערכות אקולוגיות רבות, ומחייבת מעבר דחוף מהצהרות מדיניות לפעולות שימור אקטיביות ומבוססות נתונים בשטח (Shaw et al., 2025).

המגוון הגנטי הוא למעשה "חומר הגלם" של החיים. ההבדלים הקטנים ברצפי ה-DNA הופכים כל פרט וכל קבוצה בתוך המין לייחודיים, ומציידים אותם בארגז כלים חיוני להישרדות (Da Silva et al., 2026). ניתן לדמות זאת לארגז כלים של בעל מקצוע: ככל שמבחר המברגים גדול ומגוון יותר, כך יכול בעל המקצוע לתקן סוגים רבים יותר של תקלות. מנגד, ארגז המכיל שני סוגי מברגים בלבד, יגביל משמעותית את מרחב הפעולה שלו. באופן דומה, המגוון הגנטי מתבטא בקיומם של אללים שונים (גרסאות שונות של אותו גן) בתוך האוכלוסייה. כל גרסה עשויה להעניק יתרון במצב סביבה נתון. ככל שהשונות הזו גבוהה יותר ומתפרסת על פני גנים רבים, כך גדל הסיכוי שבעת שינוי קיצוני בתנאים ימצאו באוכלוסייה פרטים בעלי שילוב גנטי המקנה להם יתרון הישרדותי (איור 1).

מכיוון שהטבע אינו סטטי אלא נתון להפרעות מתמידות, המגוון הגנטי מהווה תשתית חיונית המאפשרת לאוכלוסייה להשתנות, להתחדש ולהסתגל למציאות משתנה במצבים של אי-ודאות (Reed and Frankham, 2003). השילוב הספציפי של גנים ואללים באוכלוסייה נתונה קובע הלכה למעשה את תפקודה האקולוגי (Stange et al., 2021), ומתבטא בתכונות מדידות הנראות כלפי חוץ ונקראות פנוטיפ. מגוון גנטי גבוה מכתוב מנעד רחב לתכונות כגון קצב הצמיחה, מועדי הפריחה או ריכוז תרכובות שניוניות, והן מעצבות את יחסי הגומלין של האורגניזם עם סביבתו.

לדוגמה, עצי הצפצפה (*Populus spp.*) ממחישים היטב כיצד שינויים גנטיים שקובעים את ריכוז הטנינים, שהם חומרי הגנה כימיים נגד מזיקים בעלים, מחוללים השפעת שרשרת אקולוגית: ההבדלים האלה משפיעים ישירות



איור 1

השפעת המגוון הגנטי על חוסן האוכלוסייה ועל אספקת שירותי המערכת האקולוגית

האיור מציג השוואה בין שתי אוכלוסיות של אותו מין, ומדגים כיצד רמת המגוון הגנטי קובעת את יכולת ההתאמה וההישרדות של המערכת כולה אל מול הפרעות חיצוניות. האוכלוסייה השמאלית מאופיינת במאגר גנטי עשיר (סליל ה-DNA הצבעוני). בזכות השונות הגנטית הגבוהה יש לאוכלוסייה ארגז כלים רחב להתמודדות עם שינויים. כאשר מתרחש אירוע עקה, האוכלוסייה מפגינה חוסן גבוה, משתקמת במהירות, ושומרת על רמת תפקוד גבוהה לאורך זמן. האוכלוסייה הימנית מאופיינת במאגר גנטי דל ואחיד (סליל ה-DNA האפור). בשל שונות גנטית נמוכה האוכלוסייה הזו רגישה מאוד לשינויים סביבתיים. בעת אירוע עקה תפקוד האוכלוסייה קורס ואינו מצליח להשתקם, מה שמוביל לאובדן היציבות של המערכת. האיור ממחיש כי המגוון הגנטי הוא התשתית לאספקת שירותי מערכת חיוניים לאדם. האיור נוצר באמצעות שימוש בתוכנת Biorender - <https://BioRender.com>

בריכוז חומרים כימיים או מועדי פריחה, המהווים ביטוי מוחשי למגוון הגנטי המשפיע על המערכת האקולוגית. עם זאת, שימוש בגישה פנוטיפית מצריך מערכת ניסוי לבחינת השונות בתנאים אחידים (common gardens), המאפשרת נטרול שונות שנובעת מפלסטיות פנוטיפית ומתנאי סביבה משתנים. לבסוף, התפתחות הגנומיקה הנופית (landscape genomics) מאפשרת לשלב את הנתונים הגנומיים ברזולוציה גבוהה עם נתונים סביבתיים ומרחביים מורכבים. הגנומיקה הנופית בוחנת כיצד מאפייני הנוף (כגון טופוגרפיה, סוג קרקע או מחסומים גאוגרפיים) ומשתני אקלים משפיעים על פיזור השונות הגנטית במרחב. באמצעות זיהוי קישורים בין גנוטיפ לסביבה (Genotype-Environment Associations – GEA), ניתן למפות את פוטנציאל ההסתגלות של אוכלוסיות ולהבחין בין תהליכים דמוגרפיים אקראיים (כמו סחיפה גנטית ובידוד עקב מרחק) לבין תהליכי ברירה טבעית המביאים להתאמה מקומית. הבנה אינטגרטיבית זו חיונית לחיזוי עמידותן של אוכלוסיות עצים לשינוי האקלים ולגיבוש אסטרטגיות שימור מבוססות נתונים.

הגן שהתקבלו משני ההורים במקביל. יכולת זו מעניקה לחוקרים כלים לזהות בדיוק רב יותר את המבנה הגנטי של האוכלוסייה ולחשוף פרטים מעמיקים על החוסן והעמידה של היער, מידע שלא ניתן להפיק בשיטות המוקדמות והפשוטות יותר. תהליך האפיון הגנטי כולל הפקת DNA מרקמות ביולוגיות (כגון עלים) וריצופו בהיקף נרחב, מה שמאפשר זיהוי וריאנטים גנטיים ברזולוציה גבוהה בין פרטים ואוכלוסיות. באמצעות כלי מחשוב של גנטיקה של אוכלוסיות ניתן לקבוע מדדים מגוונים של מגוון גנטי, כמו עושר אללים והטרוזיגוטיות (צירופי אללים). הכלים האלה מאפשרים לאמוד מרחקים גנטיים בין אוכלוסיות ברזולוציה גבוהה וכן לבצע ניתוחים השוואתיים בין מרחקים גנטיים למרחקים גאוגרפיים. נוסף על כך, ניצול של ריבוי סמנים גנטיים מבוססי שונות ברמת הבסיס הבודד (Single Nucleotide Polymorphism – SNP) מאפשר להבחין בין שונות ניטרלית לבין שונות הסתגלותית, אותם אזורים בגנום המשפיעים ישירות על כושר ההישרדות וההתאמה של הפרט לתנאי הסביבה. לצד המדדים הגנטיים ניתן למדוד שונות גם דרך הפנוטיפ התפקודי, כגון הבדלים

המגוון הגנטי של המינים המעוצים בישראל

בישראל נכששים ארבעה אזורי צומח: הים תיכוני, האירנו-טורני, הסהרו-ערבי והסודני. מרבית שטחי ישראל מוגדרים כ"טריטוריות מורכבות", המאופיינות בערבוב של טיפוסים תפוצה שונים (Danin and Plitmann, 1987). מורכבות זו אינה רק גאוגרפית, אלא מהווה כור היתוך אבולוציוני התורם לתהליכי הסתגלות מקומית ותורם לעושר הגנטי במינים המעוצים. חשיבות מיוחדת לשימור המגוון הגנטי טמונה במובלעות ובשרידי צומח המצויים מחוץ לתחום תפוצתם העיקרי, מה שמכונה אוכלוסיות קצה או אוכלוסיות פריפריות (Kark and Van Rensburg, 2006). דנין ופליטמן (1987) מצביעים על קיומם של אלמנטים ים תיכוניים בסדקי סלעים בלב המדבר ועל מובלעות סודניות בתוך האזור הים תיכוני. האוכלוסיות המבודדות האלה עשויות להכיל מאגרים גנטיים נדירים וייחודיים, המייצגים עמידות לתנאי סביבה קיצוניים או שינויי אקלים היסטוריים. יתרה מכך, ההיסטוריה הארוכה של ההתיישבות האנושית באזור, הכוללת כריתה נרחבת של יערות אלון בשרון או שימוש בעצי שיטה ורותם בתעשיית המתכת העתיקה, יצרה קיטוע משמעותי בבתי הגידול (ויץ, 1970; פרבולוצקי ואח', 2013). בעוד שהאופי הפיטוגאוגרפי הכללי של האזור נשמר, הקיטוע עלול ככל הנראה להוביל לבידוד גנטי באוכלוסיות העצים, ובמקרים מסוימים לגרום לירידה בשונות הגנטית. תרחיש כזה מהווה איום ממשי בהכחדה מקומית של המין (Fady and Conord, 2010). בדו"ח מצב הטבע משנת 2023 צוין כי אוכלוסיות באזור המעבר בין החבל הים תיכוני למדברי מהוות את גבול תפוצת המין, ולכן עשויות להיות בעלות ערך גנטי לשימור (גרסברד ורנן, 2024). עם זאת, לא קיימת בדו"ח התייחסות למגוון הגנטי של צמחי ישראל או של העצים בפרט.

בעשורים האחרונים ראו אור מספר מחקרים שעסקו באפיון המגוון הגנטי של אוכלוסיות עצים טבעיות בישראל. המחקרים הראשונים שפורסמו עשו שימוש בסמנים גנטיים מהדור הישן, ולמרות זאת, הם העמיקו משמעותית את הבנתנו באשר למבנה הגנטי של מספר מיני עצים מקומיים. שלושה מיני אלון (*Quercus*) נחקרו: אלון התבור (*Q. ithaburensis*), אלון התולע (*Q. boissieri*) ואלון מצוי (*Q. coccifera*) (שילר ואח', 2014). המחקרים הראו כי לכל מין דפוסים גנטיים ייחודיים, המושפעים מתנאי הסביבה ומההיסטוריה האבולוציונית שלו. המחקר של אלון התבור חשף כי קיים מתאם מובהק בין המבנה הגנטי של האוכלוסיות לבין תנאים גאוגרפיים ואקלימיים. האוכלוסיות התקבצו לשלוש קבוצות גנטיות התואמות את אזורי התפוצה (רמת הגולן והגליל העליון, הגליל התחתון, מישור החוף). נמצא קשר בין תדירויות אללים

לבין כמות המשקעים וקו הרוחב (Korol et al., 2004). קיטוע האוכלוסיות הוביל לבידוד רבייתי, שבשילוב עם תנאי אקלים מגוונים הניע תהליכי התמיינות והתאמה גנטית מקומית לתנאי הסביבה. נוסף על כך, מספר אוכלוסיות הראו דמיון גנטי לאוכלוסיות מרוחקות גאוגרפית, ממצא המרמז על העברת חומר ריבוי על ידי האדם בעבר. אצל אלון התולע נמצאה שונות גנטית בתוך האוכלוסיות ובין האוכלוסיות. עם זאת, בניגוד לאלון התבור, לא נמצא קשר ברור בין השונות הגנטית ובין המרחק הגאוגרפי או תנאי האקלים של האוכלוסיות (Schiller et al., 2004). עובדה זו מרמזת כי ההבדלים הגנטיים בין האוכלוסיות אינם נובעים מהתאמה לתנאי סביבה שונים, אלא הם תוצר של בידוד רבייתי וסחיפה גנטית אקראית. בדומה לאלון התולע, הרוב המכריע של השונות הגנטית בפרטי אלון מצוי קיים בתוך האוכלוסיות, ורק חלק קטן נובע מהבדלים ביניהן. השונות הגנטית הנמוכה בין האוכלוסיות של אלון מצוי מעידה על מעבר גנים (*gene flow*) גבוה ביותר שמקטין את הסיכוי ליצירת אוכלוסיות נבדלות זו מזו. ייתכן כי מעבר גנים מיטבי נשמר הודות ליכולת ההתחדשות הווגטטיבית מבסיס הגזע לאחר שרפה או כריתה, תכונה שמקנה לאלון המצוי עמידות רבה יותר בפני קיטוע וצמצום גודל האוכלוסייה (Schiller et al., 2006). למרות מעבר גנים משמעותי בין אוכלוסיות האלון המצוי, אוכלוסיות שנמצאות בשולי אזור התפוצה ובתנאי יובש הראו שונות גנטית ייחודית. בולטת במיוחד אוכלוסיית דיר-רזק שבדרום הר חברון, שהציגה את רמת השונות הגנטית הגבוהה ביותר במחקר (מדד Nei לשונות גנטית: $h = 0.355$).

מחקר שנעשה על אלת המסטיק (*Pistacia lentiscus*) בישראל ובקפריסין העלה כי למרות קיומה של שונות גנטית בין שני האזורים, האוכלוסיות בישראל מאופיינות בהומוגניות גנטית גבוהה ובמעבר גנים רציף. החוקרים מצאו פער בין המבנה הגנטי האחד לבין השונות הפנוטיפית המובהקת שנמדדה בשטח (Nahum et al., 2008). פער זה הוביל למסקנה כי השונות הפנוטיפית בין האוכלוסיות אינה נובעת משינוי גנטי, אלא מפלסטיות פנוטיפית. אצל אלת המסטיק הפלסטיות הפנוטיפית, שהיא האסטרטגיה המרכזית של המין, מאפשרת לפרטים בעלי מטען גנטי דומה לשרוד ולשגשג בטווח רחב של בתי גידול, מה שהופך את המין למותאם יותר לשינויי אקלים עתידיים. לצד הממצאים שהתקבלו באמצעות הסמנים מהדור הישן, מחקרים אחרים שפורסמו בשנים האחרונות אימצו את השימוש בסמני SSR ככלי מרכזי. השונות הגנטית באוכלוסיות עצי שיטה סוככנית (*Vachellia tortilis*) נבחנה בישראל ובירדן, המהוות את קצה גבול התפוצה הצפוני של המין. בהשוואה לאוכלוסיות מרוחקות, נמצא כי המגוון הגנטי באזור הזה גבוה מזה שנמדד במצרים, אך נמוך מאוכלוסיית המקור

עם האבקת הרוח ומשטר הרוחות (ממערב למזרח). במחקר אחר (Steinitz et al., 2012) נבחנה השוונות הגנטית בשלוש אוכלוסיות טבעיות של אורן ירושלים (*Pinus halepensis*) בישראל (הר פיתולים, הר סומק והר שפנים). הממצאים הצביעו על הבדלים גנטיים ברורים בין האתרים, אולם בתוך האוכלוסיות הטבעיות נמצא מגוון גנטי נמוך בהשוואה לדור הצעיר המתחדש סביבן. פער זה נובע ממעבר גנים נרחב מחלקות האורנים הנטועות בקרבת מקום. מעבר הגנים מהאוכלוסיות הנטועות מפר את המבנה הגנטי של האוכלוסיות הטבעיות, ומעלה חשש לאובדן תכונות הסתגלות מקומיות. אי לכך, עולה חשיבותו המכרעת של שימור המגוון הגנטי הייחודי.

ממצאי המחקרים במינים שצוינו לעיל מעידים כי השוונות הגנטית באוכלוסיות עצים טבעיות בישראל דינמית ומגוונת, ונעה על פני רצף, מבידוד גנטי מובהק (אלון התבור וזית) ועד הומוגניות ומעבר גנים רציף (אלת המסטיק ואלון מצוי, טבלה 1). ההבדלים האלה משקפים לרוב את השילוב שבין הביולוגיה של המין לבין התנאים האקולוגיים בשטח; למשל, מינים המאופיינים בהאבקת רוח ובהפצת זרעים לטווחים

בסודן. באוכלוסיות ישראל וירדן נמצא קשר חיובי מובהק בין מרחק גאוגרפי למרחק גנטי, המעיד על מבנה אוכלוסייה היררכי. אתר 'רודד' שנמצא באזור אילת הציג את המגוון הגנטי הגבוה ביותר, בעוד שאתר 'שלמה' הסמוך הציג את המדדים הנמוכים ביותר (Rodger et al., 2018). המחקר מדגיש את קיומן של אוכלוסיות ספציפיות המשמשות צמתים מרכזיים ברשת מעבר הגנים, חלק מהן סווגו כמוקדות (hotspots) לשימור המגוון הגנטי ולהמשכיות מעבר הגנים בין האוכלוסיות. במחקר נוסף שנעשה על זית הבר (*Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sylvestris*) באזור רכס הכורכר בעתלית, נמצא כי האוכלוסייה נבדלת גנטית באופן מובהק מאוכלוסיות הזית התרבותי הגדלות באזור (Ben-Dor et al., 2024). הממצאים העלו כי השוונות הגנטית באוכלוסיית הבר גבוהה משמעותית מזו של זני התרבות, עובדה המעידה על קיומו של מאגר גנטי עשיר וחיוני, השונה מהותית מהמטען הגנטי המצומצם והאחיד של זני המטעים. הישרדותה של זהות גנטית מקורית זו חרף אלפי שנים של חקלאות זיתים אינטנסיבית באזור נחשבת לממצא יוצא דופן. החוקרים מייחסים את השימור הגנטי הזה לבידוד הטופוגרפי שנוצר הודות לרכס הכורכר, בשילוב

שם המין	שוונות גנטית (ממצאים מרכזיים)	אסטרטגיה אבולוציונית / הסתגלותית	המלצות לשימור
אלון התבור	קיימת שוונות מובהקת בין שלוש קבוצות גאוגרפיות (צפון, מרכז ודרום). קשר בין תדירות אללים למשקעים ולרוחב רוחב	התאמה מקומית: קיטוע הוביל לבידוד רבייתי ולהתמיינות גנטית בהתאם לתנאי האקלים המקומיים	שימור אוכלוסיות המייצגות את כלל אזורי התפוצה בשל ההבדלים הגנטיים המהותיים ביניהן
אלון התולע	קיימת שוונות בתוך האוכלוסיות וביניהן, אך ללא קשר ברור למרחק גאוגרפי או אקלים	סחיפה גנטית אקראית: ההבדלים הגנטיים נובעים מבידוד רבייתי ומסחף אקראי ולא מהתאמה סביבתית	הגנה על אוכלוסיות מבודדות למניעת אובדן שוונות עקב סחיפה גנטית
אלון מצוי	שוונות נמוכה בין אוכלוסיות והומוגניות גבוהה עקב מעבר גנים רציף. שוונות ייחודית באוכלוסיות קצה (כמו דיר-רזק)	חוסן לקיטוע: יכולת התחדשות וגנטיבית שומרת על מעבר גנים ומקטינה את הסיכון להכחדה מקומית	מתן חשיבות מיוחדת לאוכלוסיות בשולי אזור התפוצה בעלות שוונות גנטית ייחודית
שיטה סוככנית	מגוון גבוה ממצרים אך נמוך מסודן. קשר חיובי בין מרחק גאוגרפי לגנטי	מבנה היררכי: קיום צמתים מרכזיים ומוקדות (hotspots) להמשכיות מעבר הגנים	שימור מוקדות (כמו אתר 'רודד') המשמשות צמתים קריטיים לרשת מעבר הגנים
אלת המסטיק	הומוגניות גנטית גבוהה ומעבר גנים רציף בין ישראל לקפריסין	פלסטיות פנוטיפית: אסטרטגיה המאפשרת לפרטים דומים גנטית לשגשג במגוון בתי גידול ולהיות מותאמים לשינויי אקלים	שימור המין ככלל, שכן הפלסטיות שלו מקנה לו התאמה רבה בפני שינויים עתידיים בתנאי הסביבה ועמידות למזיקים ולמחלות
זית אירופי (זית בר)	שוונות גבוהה משמעותית מזני התרבות וזהות גנטית נבדלת	בידוד טופוגרפי: שימור הזהות המקורית בזכות מחסומים פיזיים (רכס הכורכר) ומשטר רוחות	הגנה על מאגרי גנים של אוכלוסיות בר מקוריות ומניעת ערבוב עם זני מטעים
אורן ירושלים	מגוון גנטי נמוך באוכלוסיות טבעיות בהשוואה לדור הצעיר סביבן	פגיעות לזיהום גנטי: מעבר גנים נרחב מאורנים נטועים משנה את המבנה הטבעי	מניעת זיהום גנטי ממקורות נטועים כדי להגן על תכונות ההסתגלות המקומיות

טבלה 1

מאפייני המגוון הגנטי והמלצות לניהול שימור באתר עבור מיני עצים נבחרים בישראל

באקולוסיות מצומצמות וקטועות, הסובלות מבידוד גנטי ומגודל אוכלוסייה אפקטיבי נמוך, מה שמעלה את רגישותן לקריסה ביולוגית. מצב זה מחייב פעולות שימור אקטיביות, ניטור קפדני ושיקום בתי גידול במטרה למנוע את אובדן המינים האלה מהנוף המקומי.

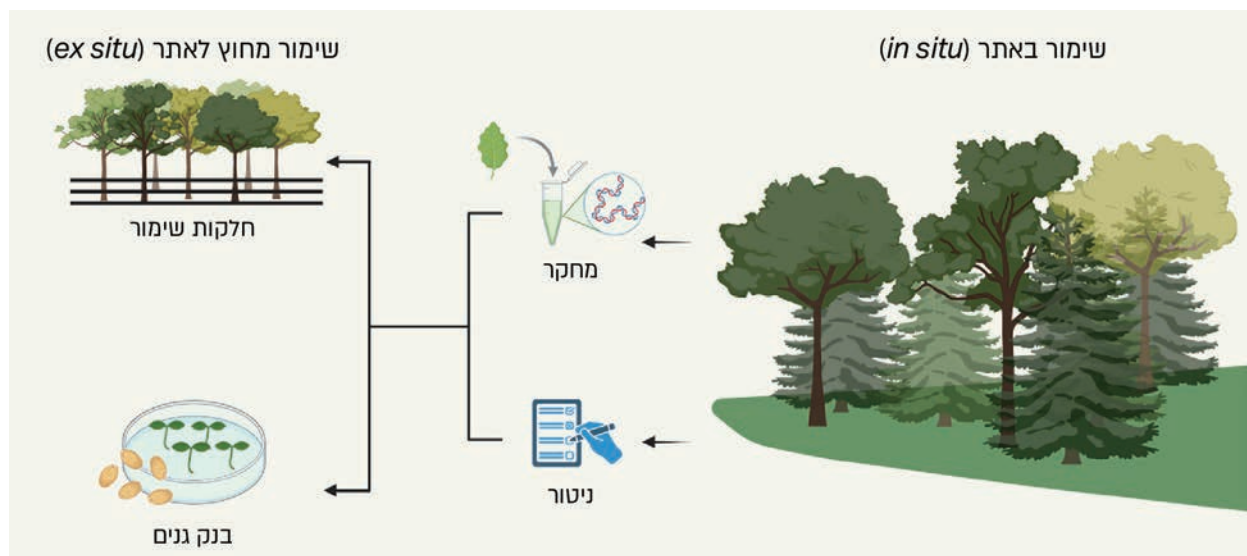
לנוכח הצורך הדחוף בשימור החוסן הביולוגי של כלל המערכות האקולוגיות, מציגה אמנת קונמינג-מונטריאול אסטרטגיות ניהול מבוססות מדע לשמירה על המשאבים הגנטיים (Hoban et al., 2025). פעולות השימור המומלצות בחלוקה לסעיפים אופרטיביים כוללות: (1) שימור בתי גידול באתר (*in situ*): מתן עדיפות להגנה על אזורים המוגדרים כמקדודות של מגוון גנטי, ושימוש בשיעור ההגנה על טווח התפוצה כאינדיקטור לשימור פוטנציאל ההסתגלות של המין במקרים של היעדר מידע גנטי; (2) ניהול איומים דמוגרפיים: נקיטת פעולות לצמצום גורמי סיכון במטרה לשמור על אוכלוסיות גדולות ויציבות, המונעות שחיקה גנטית ורביית קרובים; (3) שיקום קישוריות גנטית: הסרת מחסומים פיזיים ויצירת מסדרונות אקולוגיים המאפשרים מעבר גנים חופשי בין אוכלוסיות מבודדות, דבר המגדיל את החוסן האבולוציוני של המין; (4) ביצוע התקנות (translocations) והצלה גנטית: העברה מבוקרת של פרטים בין אוכלוסיות (genetic rescue) כדי להעשיר את המגוון הגנטי, תוך בחירה מושכלת של מקורות גנטיים המתאימים לתנאי האקלים העתידיים; (5) שימור מחוץ לאתר (*ex situ*): שימור זרעים בבנקי גנים או הקמת תוכניות הכלאה מבוקרות עבור מינים בסכנת הכחדה מיידית (במקרים של אוכלוסיות קטנות מדי או לא פוריות), תוך שימוש בכלים גנומיים מתקדמים לניהול זיווגים ולמזעור אובדן המגוון הגנטי; (6) ניטור ומדידה: הצבת יעדים כמותיים מוגדרים מראש וביצוע ניטור גנטי ארוך טווח כדי להעריך את אפקטיביות פעולות הניהול לאורך דורות; (7) שיתוף פעולה בין-מגזרי: הידוק הקשר בין חוקרים לבין מנהלי שטח לצורך תכנון משותף והכשרה מקצועית.

לאור זאת ובהתאם לעושר המינים באזורנו, על מדינות אגן הים התיכון מוטלת אחריות קולקטיבית לקדם מדיניות שימור שמבוססת על קריטריונים ועל סדרי עדיפויות מוגדרים (Fady et al., 2025). אג'נדת המחקר ליערות הים התיכון 2030 (Bou Dagher Kharrat et al., 2022) מציבה את ניהול המשאבים הגנטיים כעוגן מרכזי, תוך דגש על הקמת רשת של יחידות שימור גנטי (Genetic Conservation Units – GCU). היחידות האלה מאפשרות שימור באתר של אוכלוסיות בעלות פוטנציאל הסתגלותי גבוה, בייחוד באזורי קצה גאוגרפיים, כמו ישראל. שילוב בין תיעוד גנטי מדויק לבין פעולות שימור אקטיביות באתר ומחוץ לאתר חיוני לא רק להגנה על המגוון הביולוגי, אלא גם להמשכיות השירותים המערכתיים שהיערות מספקים

ארוכים על ידי בעלי כנף, נוטים לשמור על קישוריות גנטית גבוהה, בעוד שמינים הגדלים בבתי גידול מקוטעים או מינים שיחידות הריבוי שלהם כבדות ומופצות למרחקים קצרים בלבד, נוטים להראות מבנה גנטי מבודד יותר. אף שבישראל קיימים כ-70 מיני עצים מקומיים, שרבים מהם מהווים אוכלוסיות קצה של ארבעת אזורי הצמחייה שהוזכרו לעיל, הידע הגנטי הקיים מוגבל למספר מצומצם של מינים. עם זאת, התפתחותם של כלים גנומיים מתקדמים מאפשרת כיום להעמיק את המחקר גם לגבי מינים שאינם מיני מודל, ולהרחיב את בסיס הידע לכלל המינים. צעד משמעותי בכיוון הזה נעשה לאחרונה עם הקמת המרכז הישראלי לשימור ולאכיון של המגוון הביולוגי – IBCC (Israeli Biodiversity Curation Center) במימון הות"ת, שמשתתפים בו מספר מוסדות מחקר במטרה להקים מאגר מידע רב-שכבתי למגוון המינים בישראל (<https://ibcc.co.il>). הכללתם של מספר מיני עצים בתוכנית מהווה תשתית ראשונית לבניית מאגר גנטי מקיף לצומח המעוצה בישראל, ויש לקוות כי היוזמה תסלול את הדרך למיפוי גנטי מלא של כלל המינים המעוצים בישראל.

אסטרטגיות לניהול ושימור המשאבים הגנטיים

אזור אגן הים התיכון מוכר כאחד ממקדודות המגוון הביולוגי (biodiversity hotspots) המובילות בעולם הודות לעושר המינים ולשיעור האנדמיות הגבוהים המאפיינים אותו (Myers et al., 2000). ישנם 643 טקסונים של עצים (מינים ותתי-מינים), מתוכם 262 אנדמיים לאחת מיבשות האגן בלבד, בעוד ש-58 טקסונים נוספים אנדמיים לאזור האגן, אך תפוצתם משתרעת על כני יותר מיבשת אחת (Fady et al., 2025). הנתונים האלה מבססים את מעמדו של אגן הים התיכון כנכס אסטרטגי לשימור ברמה העולמית. עם זאת, ניתוח מצב השימור של עצי האזור מעלה תמונה מדאיגה. על פי הגדרות ה-IUCN, כ-9% ממיני העצים מאוימים. חוקרים מעריכים כי זו הערכת חסר, שכן עבור כמעט ממצחית המינים באגן (46.9%) לא קיים מידע (Fady et al., 2025). לנוכח העובדה שרבים מהמינים שטרם הוערכו הם אנדמיים, קיים חשש ממשי ששיעור המינים המצויים בפועל בסכנת הכחדה גבוה באופן משמעותי מהמדווח. ברמה המקומית הנתונים האלה מקבלים משנה תוקף בפורטל הערכות הסיכון לטבע בישראל ("הספר האדום"). ברשימת המינים האדומים (בסכנת הכחדה או בסיכון) נכללים מספר מיני עצים, דוגמת שקד רמון (*Amygdalus ramosus*), חוזר החורש (*Eriolobus trilobatus*), אלון שסוע (*Q. cerris*), ערער ארזי (*Juniperus deltoidea*), ערער ברושי (*J. excelsa*) ופיקוס בת-שקמה (*Ficus palmata*) (שמידע ואח', 2026). במרבית המקרים מדובר



איור 2

סכמה לניהול משולב של שימור גנטי בעצי יער

קיימת סינרגיה (אגבזר) בין אסטרטגיות שימור שונות להבטחת החוסן האבולוציוני של המין. מימין: שימור באתר (*in situ*) בסביבה הטבעית, המאפשר לכוחות אבולוציוניים (ברירה טבעית, מעבר גנים ומוטציות) להמשיך לפעול, ותומך בהתאמה מקומית לתנאי סביבה משתנים. הפעולות הנגזרות מהיחידות האלה כוללות מחקר גנטי לאפיון פוטנציאל ההסתגלות וניטור רציף של מדדי השונות הגנטית לזיהוי אוכלוסיות בסיכון. משמאל: שימור מחוץ לאתר (*ex situ*) המהווה גיבוי אסטרטגי ושיקום. השימור כולל חלקות שימור ומטעי אם לזרעים ובנקי גנים המספקים שימור סטטי. האיור נוצר באמצעות שימוש בתוכנת Biorender - <https://BioRender.com>.

העצים, כגון מיני שקד ואלון, לא ניתן לשמור זרעים לטווח ארוך. בניגוד לשיטות הדינמיות, בשימור סטטי החומר הגנטי נשמר במצב "מוקפא", ואינו עובר תהליכי התפתחות או הסתגלות אבולוציונית בזמן האחסון (איור 2).

לסיכום, שימור המגוון הגנטי של עצי ישראל הוא הכרח אסטרטגי לנוכח משבר האקלים, בייחוד לאור העובדה שרבים מהמינים המקומיים נמצאים בקצה גבול תפוצתם ונושאים מטען גנטי ייחודי של התאמה ליובש. כדי להבטיח את חוסן היערות אין להסתפק עוד בניטור עושר המינים בלבד, אלא יש להטמיע כלים גנומיים מתקדמים למדידה מדויקת של השונות הגנטית בתוך האוכלוסיות. שימוש במדדים האלה יאפשר זיהוי מוקדי סיכון, מניעת שחיקה גנטית וניהול מושכל של יחידות שימור במטרה להבטיח את המשכיות שירותי המערכת האקולוגית שהטבע מספק, לדורות הבאים.

תודות

אנו מודים למעניקי המלגות לסטודנטית נטשה קינג: מלגת מוסמך במסגרת תוכנית המלגות המשותפת למכון וולקני ולפקולטה לחקלאות ע"ש רוברט ה. סמית, ומלגת Appleby Canada.

לאנושות. מסמך MFRA 2030 מציע מפת דרכים אסטרטגית להתמודדות עם איומי משבר האקלים המחריפים, תוך הצבת המשאבים הגנטיים כעוגן מרכזי לעמידות העתידית של היערות. המסמך מדגיש כי המגוון הגנטי הייחודי של מיני העצים באזור הים התיכון הוא המפתח ליכולת ההסתגלות שלהם לתנאי יובש קיצוניים ולעמידות בפני מזיקים חדשים. לפיכך, יש לתת עדיפות למחקר ולפעולות שימור וניהול של המשאבים האלה באתר ומחוץ לו במטרה להבטיח את המשכיות שירותי המערכת האקולוגית החיוניים שהיערות מספקים (Bou Dagher Kharrat et al., 2022).

בפעולות השימור, הגישה המועדפת והמרכזית היא שימור באתר, המתבצעת בסביבה הטבעית של המין ומאפשרת לכוחות אבולוציוניים, כמו ברירה טבעית, מוטציות ומעבר גנים, להמשיך לפעול, ובכך תומכת ביכולת ההסתגלות המקומית של האוכלוסייה לשינויי סביבה (איור 2). בשימור מחוץ לאתר אוכלוסיות או מינים מועברים וניטעים מחוץ לבית גידולם המקורי או מחוץ לטווח התפוצה הטבעי שלהם (למשל, במטעי זרעים או בחלקות שימור ייעודיות). למרות השינוי במיקום התהליכים האבולוציוניים עדיין מתרחשים בשטח שהעצים ניטעו בו. במקרים מסוימים שימור מחוץ לאתר יכול להיות גם סטטי ולכלול אחסון לטווח ארוך של חומר גנטי, כגון זרעים, אבקה או רקמות צמחיות, בתוך בנקי גנים (Barazani et al., 2008). חשוב לציין כי ברבים ממיני

- Hébert K, Pollock L, and Hoban S. 2025. How much monitoring is needed to reliably track progress towards genetic diversity targets? *EcoEvoRxiv*. <https://doi.org/10.32942/X2F35K>.
- Hoban S, Hvilsom C, Aissi A, Aleixo A, Bélanger J, Biala K, et al. 2025. How can biodiversity strategy and action plans incorporate genetic diversity and align with global commitments? *BioScience*, 75(1), 47–60.
- Kark S and Van Rensburg BJ. 2006. Ecotones: Marginal or central areas of transition? *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 52, 29–53.
- Korol L, Shklar G, and Schiller G. 2004. Tabor oak in Israel, genetic diversity within and between populations. *Forest Genetics*, 11(3–4), 317–323.
- Manes F, Blasi C, Salvatori E, Capotorti G, Galante G, Feoli E, et al. 2012. Natural vegetation and ecosystem services related to air quality improvement: Tropospheric ozone removal by evergreen and deciduous forests in Latium (Italy). *Annali Di Botanica*, 2, 79–86.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Da Fonseca GAB, and Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403, 853–858.
- Nahum S, Inbar M, Ne'eman G, and Ben-Shlomo R. 2008. Phenotypic plasticity and gene diversity in *Pistacia lentiscus* L. along environmental gradients in Israel. *Tree Genetics and Genomes*, 4(4), 777–785.
- Noss RF. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4, 355–364.
- Reed DH and Frankham R. 2003. Correlation between fitness and genetic diversity. *Conservation Biology*, 17(1), 230–237.
- Rodger YS, Greenbaum G, Silver M, Bar-David S, and Winters G. 2018. Detecting hierarchical levels of connectivity in a population of *Acacia tortilis* at the northern edge of the species' global distribution: Combining classical population genetics and network analyses. *Plos One*, 13(4), 1–16.
- Schiller G, Shklar G, and Korol L. 2004. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks in Israel. 2. *Quercus boissieri* Reut. *Israel Journal of Plant Sciences*, 52, 315–322.
- Schiller G, Shklar G, Ungar ED, Al-Omari A, Zyadin F, and Korol L. 2006. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks: 3. *Quercus calliprinos* Webb. in Israel and Jordan. *Israel Journal of Plant Sciences*, 54, 137–148.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2011. *Convention on Biological Diversity: Text and Annexes*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Quebec, Canada.
- Shachak M, Bertrand B, Groner E, Kadmon R, Lubin Y, Meron E, et al. 2008. Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *BioScience*, 58(3), 209–221.
- Shaw RE, Farquharson KA, Bruford MW, Coates DJ, Elliott CP, Mergeay J, et al. 2025. Global meta-analysis shows action is needed to halt genetic diversity loss. *Nature*, 638(8051), 704–710.
- Singer A, Fried M, and Shamay Y. 1996. Throughfall deposition of sulfur to a mixed oak and pine forest in Israel. *Atmospheric Environment*, 30, 3881–3889.
- Stange M, Barrett RDH, and Hendry AP. 2021. The importance of genomic variation for biodiversity, ecosystems and people. *Nature Reviews*, 22, 89–105.
- Steinitz O, Robledo-Arnuncio JJ, and Nathan R. 2012. Effects of forest plantations on the genetic composition of conspecific native Aleppo pine populations. *Molecular Ecology*, 21(2), 300–313.
- Stephens T. 2023. The Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework. *International Legal Materials*, 62(5), 868–887.
- גרוסברד ש ורנן א (עורכים). 2024. **דו"ח מצב הטבע 2023 – כרך המגוון הביולוגי**. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- ויץ י. 1970. **היער והייעור בישראל**. עמ' 37–46. רמת גן: מסדה.
- לוטן א, גרוסברד ש, ספריאל א' וכייטלסון ע (עורכים). 2019. **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית, דו"ח ממצאי מפתח**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- פרבולוצקי א, רוזן ב ורוזנברג ד. 2013. האדם כמהנדס-על אקולוגי בחורש הים תיכוני. בתוך: פרבולוצקי א (עורך). **משק ושימור האקוסטמה הים תיכונית: רמת הנדיב כמשל**. זכרון יעקב: הוצאת רמת הנדיב.
- שילר ג, שקלר ג וקורול ל. 2014. הכרת המגוון הגנטי של מיני האלוניים הגדלים בארץ – בסיס להצלחה בנטיעות. **אקולוגיה וסביבה**, 2(2), 181–188.
- שמידע א, פולק ג ופרגמן-ספיר א. 2026. **פורטל הערכות הסיכון לטבע בישראל: צמחים בסכנת הכחדה**. רשות הטבע והגנים. <https://redlist.parks.org.il/plants>
- שפיר ש, ברקוביץ ע, ספריאל א, וויץ י (עורכים). 2018. המערכות האקולוגיות של החבל הים תיכוני – הפרק המלא. בתוך: **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הפרקים המלאים**. 2021. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- Bailey JK, Schweitzer JA, Rehill BJ, Lindroth RL, Martinsen GD, and Whitham TG. 2004. Beavers as molecular geneticists: A genetic basis to the foraging of an ecosystem engineer. *Ecology*, 85(3), 603–608.
- Barazani O, Perevolotsky A, and Hadas R. 2008. A problem of the rich: Prioritizing local plant genetic resources for ex situ conservation in Israel. *Biological Conservation*, 141(2), 596–600.
- Ben-Dor E, Dag A, Perelberg A, Chen T, Ben Dor Y, Low Ramati D, et al. 2024. Genetic and phenotypic evidence suggest the existence of indigenous olive population of wild var. *sylvestris* in the Carmel coast, southern Levant. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1–13.
- Bou Dagher Kharrat M, Martinez de Arano I, Zeki-Başken E, Feder S, Adams S, Briers S, et al. 2022. *Mediterranean Forest Research Agenda 2030*. Joensuu, Finland: European Forest Institute.
- Chapin FS III, Vitousek PM, and Matson PA. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*, 2nd ed. Springer.
- Da Silva JM, Bertola LD, Dewoody JA, Steeves T, Sunnucks P, Vilaça ST, et al. 2026. Conserving genetic and genomic diversity in accordance with global biodiversity framework. *Annual Review of Animal Biosciences*, 14, 9.1–9.30.
- Danin A and Plitmann U. 1987. Revision of the plant geographical territories of Israel and Sinai. *Plant Systematics and Evolution*, 156, 43–53.
- Ding X, Reich PB, Hisano M, and Chen HYH. 2024. Long-term stability of productivity increases with tree diversity in Canadian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121(49), 1–9.
- Fady B and Conord C. 2010. Macroecological patterns of species and genetic diversity in vascular plants of the Mediterranean basin. *Diversity and Distributions*, 16(1), 53–64.
- Fady B, Farsakoglou AM, Caron M, Abulaila K, Aleksic J, Alipour S, et al. 2025. Native trees of the Mediterranean region: Distribution, diversity and conservation challenges. *Current Forestry Reports*, 11(1), 1–20.
- Frankham R, Bradshaw CJA, and Brook BW. 2014. Genetics in conservation management: Revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, 170, 56–63.
- Gamfeldt L, Snäll T, Bagchi R, Jonsson M, Gustafsson L, Kjellander P, et al. 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*, 4, 1–8.



הר החרמון בשלג, 1969
צילום: עוזי פז, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

שירותי מערכות אקולוגיות של יערות: מושגים, שיטות הערכה ויישומים בישראל

ניר בקר

החוג לכלכלה וניהול, תל חי – אוניברסיטת קרית שמונה בגליל
nbecker@telhai.ac.il

תקציר

במחקרים ובמדיניות בהקשר הישראלי. המאמר מדגיש את החשיבות של כימות השווי הכלכלי של שירותי המערכת האקולוגית של היער כבסיס לקבלת החלטות מושכלות ובנות-קיימא בתכנון ובניהול של יערות.

יערות מספקים מגוון רחב של שירותי מערכת אקולוגית החיוניים לרווחת האדם ולקיום החיים. השירותים האלה כוללים שלוש קטגוריות עיקריות: שירותי אספקה – אספקת מוצרים מוחשיים כגון עץ, מרעה וחומרי גלם; שירותי ויסות – תהליכים התורמים לתנאי סביבה נוחים ובטוחים, כגון לכידת פחמן, ויסות מים ומניעת סחיפה; שירותי תרבות – תרומת הטבע והנוף לנופש, לחינוך, למורשת ולחוויה רוחנית. תהליכים אקולוגיים תומכים, כגון מחזור חומרים ויצירת קרקע, מאפשרים את קיומם של השירותים האלה, אך אינם נחשבים שירותים בפני עצמם.

מילות מפתח

הערכה כלכלית, ויסות אקלים, ישראל, מגוון ביולוגי, נופש בטבע, ניהול יערות בר-קיימא, ערכי קיום, תשלום עבור שירותי מערכת אקולוגית

מאמר זה מציג סקירה של שיטות ההערכה הכלכלית המרכזיות לכימות שירותי מערכת אקולוגית של יערות. החל משיטות מבוססות מחירי שוק ועלות נסיעה, דרך שיטות של העדפות מוצהרות, ועד כלים מרחביים מתקדמים כמו InVEST. תשומת לב מיוחדת מוקדשת ליישום השיטות

מבוא: המושג שירותי המערכת האקולוגית

המושג 'שירותי מערכת אקולוגית' (Ecosystem Services) התפתח במהלך העשורים האחרונים כדי לתאר את התועלת שאנשים מפיקים ממערכות טבעיות (Daily, 1997). בעוד שבעבר התמקדו בעיקר בערכים הכלכליים הישירים של משאבי טבע, כמו עץ ומים, כיום מכירים בכך שיערות מספקים תועלת מגוונת מסוגים שונים, כגון ויסות אקלים, הזדמנויות לנופש ועוד. ההכרה בתפקיד המרכזי של השירותים האלה הובילה לפיתוח מסגרות מושגיות ושיטות להערכתם.

נקודת ציון משמעותית בתחום הייתה פרסום הערכת המילניום של מערכות אקולוגיות (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), שהציבה את שירותי המערכת האקולוגית במרכז השיח הבין-לאומי על שימור טבע ופיתוח בר-קיימא. הערכה זו הגדירה ארבע קטגוריות עיקריות של שירותים: שירותי אספקה, שירותי ויסות, שירותים תרבותיים ושירותי תמיכה. מאז עודכנה המסגרת המושגית, ובפרסומים עדכניים, ובהם הערכת המארג הישראלית (לוטן ואח', 2019), מבחינים בין שלוש קטגוריות של שירותים (אספקה, ויסות ותרבות) לבין תהליכים אקולוגיים תומכים, שאין להם תועלת ישירה לאדם ולכן אינם מוגדרים כ'שירותים'.

בישראל החלה גישת שירותי המערכת האקולוגית לחלחל למדיניות הייעור וניהול היערות בעשור האחרון. תורת ניהול היער של קק"ל (2014) מגדירה את מטרת-העל של היער כ'אספקת מגוון שירותי מערכת אקולוגית לתושבי הארץ'. הפרויקט הלאומי 'מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית' (לוטן ואח', 2019) סקר לראשונה באופן שיטתי את שירותי המערכות האקולוגיות בישראל וכלל התייחסות למערכות יער. הוא מצא שהמגוון הביולוגי, כלומר השונות בין היצורים החיים ובין המערכות האקולוגיות, מהווה את הבסיס ההכרחי לתפקוד המערכות האקולוגיות ולאספקת שירותיהן, ושלמרבית השירותים אין תחליף טכנולוגי.

מספר היבטים הופכים את המקרה הישראלי לייחודי:

1. ישראל עברה תהליך ייעור מואץ מאז הקמת המדינה: שטח היערות גדל מכ-50,000 דונם בשנות ה-50 ליותר ממיליון דונם כיום. רוב יערות הללו הם יערות נטועים של אורן ירושלים (*Pinus halepensis*), ששונים מהחורש הים תיכוני המקורי. 2. צפיפות האוכלוסייה הגבוהה בישראל (כ-450 תושבים לקמ"ר בממוצע ארצי, ועד כ-8,000 במרכז ערים גדולות) יוצרת ביקוש עצום לשירותי נופש ותרבות. 3. המיקום הגאוגרפי בין אזור ים תיכוני לצחיח מקנה חשיבות מיוחדת לשירותי ויסות מים וקרקע.

קטגוריות עיקריות של שירותי מערכות אקולוגיות ביערות

שירותי אספקה

שירותי אספקה הם המוצרים הפיזיים שניתן להפיק מיערות: **תפוקת עץ** לבנייה ולמטרות תעשייתיות; **מוצרים שאינם עצים**: פירות יער, פטריות, צמחי מרפא, דבש; **מרעה** לצאן ולבקר; **חומרי גלם גנטיים** – מגוון מינים לשימושים עתידיים.

בעוד שתפוקת העץ איננה מטרה מרכזית בניהול היערות בישראל, שירותי אספקה אחרים, כמו מרעה ואיסוף מוצרים שאינם עצים, הם חלק מהמסורת המקומית ומהערך הכלכלי של יערות, בייחוד באזורים כפריים.

שירותי ויסות ובקרה

שירותי ויסות הם התהליכים האקולוגיים המווסתים את תנאי הסביבה ותומכים בחיים:

ויסות אקלים גלובלי – יערות לוכדים פחמן דו-חמצני (CO_2) מהאטמוספירה, ובכך מסייעים להאטת קצב שינוי האקלים. במחקרים נמצא שיערות בישראל, כולל יער יתיר בנגב, מהווים מבלעי פחמן משמעותיים (Grünzweig et al., 2003). יער יתיר נחקר באופן אינטנסיבי במשך עשרות שנים, והוכח שהוא שומר על יכולת לכידת פחמן נטו למרות תנאי הצחיחות. מחקרים הראו שיערות אורן בישראל קולטים כ-2–4 טונות פחמן לדונם בשנה, ומאחסנים כ-50–80 טונות פחמן לדונם בממוצע בתנאים מיטביים. **ויסות אקלים מקומי** – יערות מצננים את הסביבה באמצעות אידוי-דיות ומספקים צל, תופעה חשובה במיוחד באקלים הישראלי החם. במחקרים נמדדו הפרשי טמפרטורה של 3–5 מעלות צלזיוס בין אזורים מיוערים לשטחים פתוחים בקיץ (Potcher et al., 2006). **ויסות מים** – יחסי הגומלין בין יערות למחזור המים מורכבים, ובחינת תרומתם תלויה בסוג השטח המשמש להשוואה. בהשוואה לקרקעות חשופות ומדורדרות, יערות משפרים את חידור מי הגשם לקרקע ומפחיתים נגר עילי, בין השאר הודות להגנה על קרום הקרקע, להעשרה בחומר אורגני ולפיתוח מבנה קרקע יציב. הממצאים האלה מתועדים גם ביערות אורן ירושלים בדרום-מזרח ספרד, הנחשבים אנלוגיה ים תיכונית קרובה לתנאים בישראל (Chirino et al., 2006). עם זאת, בהשוואה לשיחייה ים תיכונית (גריגה) טבעית צפופה התמונה שונה: מחקר ישראלי מקיף שנערך לאורך מפל הגשמים (285–755 מ"מ בשנה) מצא כי ייעור מכחית את תפוקת המים של המערכת האקולוגית (ecosystem water yield) לעומת בתה וגידולים פתוחים, בגלל אידוי-דיות גבוה יותר של היער (Rohatyn et al., 2018). הבחנה זו חשובה לניהול משאבי המים בישראל, שרוב שטחי היער בה מוקמים על אדמות שלא היו קרקע חשופה. נוסף על

חומרים – מחזור פחמן, חנקן, זרחן ומינרלים אחרים; יצירת קרקע – התפתחות והעשרה של קרקע יער.

שיטות להערכה כלכלית של שירותי מערכות אקולוגיות

הערכה כלכלית של שירותי מערכות אקולוגיות היא תהליך מורכב השואף להמיר תועלת אקולוגית לערכים כספיים כדי לאפשר השוואה עם פעילויות כלכליות אחרות ולספק בסיס לקבלת החלטות (Farber et al., 2002). קיימות שיטות מגוונות להערכה כלכלית, כל אחת מתאימה לסוגים שונים של שירותים ולמצבים שונים (de Groot et al., 2012). ניתן לחלק את השיטות לשתי קטגוריות עיקריות. הקטגוריה הראשונה כוללת שיטות המבוססות על **העדפות נגלות** (Revealed Preference) – כלומר, ניתוח התנהגות בפועל של אנשים בשוק או בחיי היום-יום כדי להסיק מהם מייחסים לשירות הסביבתי. לדוגמה, אם אנשים מוכנים לנסוע שעה כדי לבקר ביער, נסיעה זו מגלה את הערך שהם מייחסים לו. הקטגוריה השנייה כוללת שיטות המבוססות על **העדפות מוצהרות** (Stated Preference) – כלומר, אנשים מצהירים ישירות, באמצעות סקרים, כמה הם מוכנים לשלם עבור שירות סביבתי שאין לו מחיר שוק, כגון שימור עצים עתיקים או שיפור איכות האוויר.

שיטות מבוססות העדפות נגלות

שיטת מחירי השוק – שיטת מחירי השוק (Market Price Method) מתאימה לשירותי אספקה שנסחרים בשוק, כמו עץ, פירות יער או מרעה. הערך נקבע על פי מחירי השוק הקיימים. למשל, ניתן להעריך את שווי תפוקת העץ של יער על פי מחיר העץ בשוק, בהתחשב בעלויות הכריתה וההובלה.

ייצור עץ אינו מטרה מרכזית ביערות קק"ל (אסם ואח', 2014), אך ניתן להעריך את הערך הפוטנציאלי של תפוקת עץ מדילול או מפעולות ניהול. נוסף על כך, ערך המרעה ביערות בצפון הארץ ובנגב מוערך על פי מחירי השוק של מרעה חקלאי (Merlo and Croitoru, 2005).

שיטת עלות הנסיעה – שיטת עלות הנסיעה (Travel Cost Method – TCM) משמשת להערכת שירותי נופש ותיירות. ההנחה היא שעלויות הנסיעה לאתר (דלק, זמן) משקפות את הערך שהמבקרים מייחסים לו. באמצעות סקרים של מבקרים ואיסוף נתונים על מרחקי נסיעה ותיירות ביקורים ניתן לבנות עקומת ביקוש ולהעריך את עודף הצרכן (consumer surplus), כלומר את הערך שהמבקרים מייחסים מעבר למה ששילמו.

הכמות, שירות ויסות המים כולל גם היבט איכות: כיסוי היער מסנן מזהמים ומפחית את שטיפת חומרי ההזנה והחנקות למי התהום, ובכך תורם לשמירה על איכות מקורות מים. **מניעת סחיפת קרקע** – השורשים והכיסוי הצמחי של היער מונעים סחיפה ומפולות קרקע, בייחוד בשטחים ההרריים של ישראל (Inbar et al., 1998). **סיהור אוויר** – עצים סופגים מזהמי אוויר וחלקיקים, ומייצרים חמצן (Nowak et al., 2014). **הפחתת רעש** – יערות משמשים מחסומי רעש טבעיים, בייחוד סמוך לכבישים ולאזורים תעשייה (Feng and Ling, 2003; Van Renterghem et al., 2012). **הפחתת הסכנה משרפות** – במחקר על יערות הכרמל (Raviv et al., 2021) נמצא שפרט לאספקת שירותי ויסות מים בשווי של עשרות מיליוני דולרים בשנה, ניהול נכון של היער, כגון דילול, הכנסת מינים מותאמים לאש וטיפול בצמחייה, מפחית את הסיכון לשרפות הרסניות ואת עוצמתן.

שירותי תרבות

שירותי תרבות הם התועלת הלא-חומרית שאנשים מכינים מיערות:

נופש וטיולים – יערות קק"ל קולטים מיליוני מבקרים בשנה, ומהווים אתרי נופש מרכזיים. מחקרים הראו שערך הנופש של יערות בישראל מוערך במאות מיליוני שקלים; **ערכים אסתטיים ונופיים** – היופי והשלווה של יערות תורמים לאיכות החיים ולבריאות הנפש; **חינוך וידע** – יערות משמשים מעבדות חיות ללימוד אקולוגיה וטבע; **ערכי מורשת** – בחלק מהיערות נמצאים אתרים היסטוריים ותרבותיים; **ערכים רוחניים** – ביערות ניתן לחוש קשר רוחני ותרבותי לטבע; **השראה** – היערות מספקים השראה לאומנות, לתרבות וליצירה.

תרבות הטיול ביערות מהווה חלק מרכזי בזהות הלאומית בישראל. ערך הנופש ביער ביריה בגליל העליון הוערך בשיטת עלות הנסיעה בכ-7.3 מיליון ש"ח לשנה (בקר וחורש, 2007; ראו פירוט בהמשך).

הפרויקט הלאומי להערכת שירותי מערכות אקולוגיות (המארג) העריך את שירותי התרבות של המערכת האקולוגית הים תיכונית, הכוללת יערות, חורשים ובתה, בכ-27.7 מיליארד ש"ח במונחי ערך נוכחי, או בכ-830 מיליון ש"ח לשנה (פלוישר ובקר, 2018). הערכים האלה מייצגים הערכת חסר בלבד, שכן שירותי ויסות ותהליכים אקולוגיים תומכים לא נכללו בהיעדר נתונים מספקים.

תהליכים אקולוגיים תומכים

תהליכים אקולוגיים תומכים הם התהליכים האקולוגיים הבסיסיים הדרושים לייצור כל שאר השירותים (לוטן ואח', 2019): ייצור ראשוני – פוטוסינתזה ויצירת ביומסה; מחזור

(2009) העריכו את נכונות הציבור לשלם לשימור עצים עתיקים ביערות ישראל, ומצאו תועלת ממוצעת של 45–53 ש"ח למשק בית לשנה. ממצא מרכזי הוא שכ-83% מהשווי מיוחס לערכי קיום, כלומר לערך שאנשים מייחסים לעצם קיום הנכס הטבעי גם ללא ביקור בו. הפרק הכלכלי בדו"ח המארג (פליישר ובקר, 2018) מאשש את הממצאים האלה ברמה לאומית, תוך ציון העובדה שלמרבית שירותי המערכת בישראל אין תחליף, ושהמגוון הביולוגי הוא הבסיס לאספקתם.

שיטת בחירה בניסויים – שיטת בחירה בניסויים (Choice Experiments Method) היא הרחבה של שיטת ההערכה המותנית, שבה המשיבים מתבקשים לבחור בין תרחישים שונים בעלי מאפיינים שונים ובמחירים שונים. ניתוח הבחירות מאפשר להעריך את הערך של כל מאפיין בנפרד. למשל, ניתן להציג תרחישים שונים של ניהול יער, המשתנים בהתאם לגודל המגוון הביולוגי, לזמינות שבילי טיול ולעלות, ולהעריך את הערך של כל מאפיין.

שיטות מבוססות עלות

שיטות מבוססות עלות אינן מודדות ישירות העדפות צרכנים, אך נסמכות על עלויות שוק כמייצגות את ערך השירות. בספרות הן מסווגות לעיתים בהעדפות נגלות ולעיתים כקטגוריה עצמאית; כאן הן מוצגות בנפרד לשם בהירות.

שיטת עלות ההחלפה – שיטת עלות ההחלפה (Replacement Cost Method) מעריכה את שווי של שירות מערכת אקולוגית על פי העלות של החלפתו בתשתית מלאכותית. למשל, אם יער מסנן מים ומונע סחיפת קרקע, ניתן להעריך את ערך השירות הזה לפי עלות הבנייה של מתקן טיהור מים וקירות תומכים.

שיטת עלויות הנזק שנמנעו – שיטת עלויות הנזק שנמנעו (Damage Cost Avoided) מעריכה את ערך השירות על פי הנזקים שהוא מונע. למשל, יערות שמונעים סחיפת קרקע מפחיתים נזקי שיטפונות ולכלוך בנחלים ובמאגרים. הערך של השירות נמדד על פי הנזקים הכספיים שנחסכו.

שיטת העברת ערך

שיטת העברת ערך (Benefit Transfer) משתמשת בתוצאות הערכה ממחקרים קיימים ומעבירה אותן להקשר חדש. למשל, ניתן להשתמש בערך שירותי נופש שהוערך ביער אחד, כדי להעריך ערך שירותים דומים ביער אחר. השיטה חוסכת זמן ועלויות, אך דורשת התאמה קפדנית בין האתרים. שיטה זו נפוצה כאשר אין משאבים לביצוע מחקר הערכה חדש, והיא מתאימה לקבלת החלטות ראשוניות ולתכנון מדיניות.

בקר וחורש (2007) יישמו את שיטת עלות הנסיעה ביער בירה, המייצג נופש בחיק הטבע באזור כפרי בגליל העליון. המחקר שילב שלושה מודלים חלופיים המניבים ערך כולל ליער בטווח של 1.7–12.9 מיליון ש"ח לשנה, עם ממוצע גאומטרי של כ-7.3 מיליון ש"ח (332 ש"ח לביקור). ניתוח עלות-תועלת לשלושה מאפיינים – המצודה, דרכים ומצפורים – הראה שהתועלת השנתית הנקייה מהשקעה בהם עומדת על כ-0.57 מיליון ש"ח. המחקר הדגיש שערכו של היער עולה ככל שמאפייני הנוף, כגון תצפיות ואתרי מורשת, מכותחים יותר. ניתן להשתמש בממצא הזה בהחלטות השקעה של קק"ל.

שיטת המחיר ההדוני – שיטת המחיר ההדוני (Hedonic Pricing Method) משמשת להערכת השפעת גורמים סביבתיים על ערך נכסים, בעיקר דירות ומקרקעין. הרעיון הוא שמחיר נכס משקף את מאפייניו השונים, כולל קרבה ליער או לנוף ירוק. ניתוח רגרסיה מאפשר לבדוד את התרומה של הקרבה ליער למחיר הנכס, ובכך להעריך את ערך היער.

מחקרים בישראל באזור ירושלים והכרמל הראו שקרבה ליערות משפיעה באופן חיובי על מחירי דירות, בייחוד באזורים עירוניים. הם מצאו פרמיה של מספר אחוזים במחירי דירות שצופות על יער או סמוכות אליו (Dai et al., 2023).

שיטת פונקציית הייצור – שיטת פונקציית הייצור (Production Function Method) משמשת להערכת שירותי ויסות התורמים לייצור כלכלי. למשל, תפקיד היער בוויסות מים משפיע על זמינות המים לחקלאות ולמגזר הביתי. ניתן להעריך את הערך הכלכלי של שירות זה על ידי ניתוח פונקציית הייצור החקלאית או החיסכון בעלויות טיהור המים.

שיטות מבוססות העדפות מוצהרות

שיטת ההערכה המותנית – שיטת ההערכה המותנית (Contingent Valuation Method – CVM) משתמשת בסקרים להערכת נכונות לשלם (Willingness to Pay – WTP) או נכונות לקבל פיצוי (Willingness to Accept – WTA) עבור שינוי בשירות מערכת אקולוגית. למשל, ניתן לשאול אנשים כמה הם מוכנים לשלם כדי להבטיח שימור יער או שיקום שטח מדורדר. השיטה מאפשרת להעריך גם את ערכי הקיום (existence values) – ערכים שאנשים מייחסים לקיום היער, גם אם אינם משתמשים בו באופן ישיר.

שיטת ההערכה המותנית שימשה בישראל במחקרים שונים הקשורים לשירותי יערות. Freeman ו-Becker

צחיחים (Rotenberg and Yakir, 2010). נוסף על כך, נמצא שהיער משפיע על תהליכים הידרולוגיים, על הרכב הקרקע ועל התפתחות מערכת אקולוגית ייחודית. הערך הכלכלי של לכידת הפחמן ביער יתיר מוערך במיליוני דולרים על פני עשרות שנים, בהתאם למחירי הפחמן הבין-לאומיים. זאת ועוד, היער מספק שירותי תרבות למגזר הבדואי באזור, כולל מרעה, אספקת עצי הסקה וחיבור לטוף (Tal, 2002).

שירותי נופש ביערות הצפון

יערות הצפון – כמו יער בריה ויערות אחרים בגליל ובגליל – הם יעדי נופש מרכזיים. המחקר באמצעות שיטת עלות הנסיעה על יער בריה (בקר וחורש, 2007) העריך את השווי הכלכלי השנתי של הנופש ביער בכ-7.3 מיליון ש"ח לשנה. נציין ששירותי הנופש של יערות הצפון תורמים גם לכלכלה המקומית באמצעות תיירות, מסעדות, צימרים ועסקים נוספים.

כרויקט המארג – הערכה לאומית

הפרק 'התרומה לרווחת האדם – כלכלה' (פליישר ובקר, 2018) ביצע את ההערכה הכלכלית המקיפה הראשונה של שירותי מערכות אקולוגיות בישראל. שירותי התרבות של כלל שש המערכות האקולוגיות הוערכו בלפחות 3.1 מיליארד ש"ח לשנה, ומתוכן המערכת הים תיכונית (הכוללת יערות, חורשים ושטחים פתוחים) תורמת כ-830 מיליון ש"ח לשנה. בכרויקט ההערכה הלאומית מצוין במפורש שהערכים האלה מייצגים הערכת חסר, מאחר שאינם כוללים שירותי ויסות, שעל פי מחקרים בין-לאומיים מהווים כ-42% מסך שירותי המערכת (Brander et al., 2024).

השפעת משבר הקורונה על שירותי נופש

מחקרים בין-לאומיים הראו כי חשיפה ארוכת טווח למרחבים ירוקים משפרת את בריאות הנפש (Gascon et al., 2015). משבר הקורונה (2020–2022) הדגים את חשיבותם של היערות כמרחבי נופש נגישים וזמינים לציבור הרחב (Derks et al., 2020). במהלך המשבר, כאשר הוגבלו נסיעות לחו"ל ומתקני נופש פנימיים נותרו סגורים, נרשמה עלייה דרמטית במספר המבקרים ביערות. תופעה זו הדגישה את **ערכם של היערות לביטוח בריאות**, כלומר, כנכס שערכו הממשי נחשף דווקא בעת משבר: כאשר חלופות הנופש נסגרות, היערות נותרים המרחב הנגיש היחיד לשמירה על בריאות הנפש והגוף (Buckley and Brough, 2017; Pichlerová et al., 2023). ערך זה אינו בולט בשגרה, אך הופך לחיוני בשעת הצורך. כמו כן, הודגשו **הצורך בתשתיות נאותות** – הלחץ המוגבר על היערות חשף גם בעיות כמו גודש, חוסר במקומות חניה ובתשתיות סניטריות, ו**חשיבותה של הנגישות** – יערות קרובים למרכזי אוכלוסייה מילאו תפקיד קריטי בתקופת הסגר.

כלים מתקדמים לשילוב שיטות הערכה

בשנים האחרונות פותחו כלים ממוחשבים שמאפשרים הערכה מרחבית של שירותי מערכות אקולוגיות. המודל המוביל בתחום זה הוא InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs), שפותח במסגרת פרויקט ההון הטבעי של אוניברסיטת סטנפורד (Sharp et al., 2020). המודל משלב נתוני מרחב (ממ"ג, GIS), נתונים ביופיזיקליים ונתונים כלכליים כדי להעריך את הכמות והאיכות של השירותים השונים ואת ערכם הכלכלי. InVEST אינו שיטת הערכה עצמאית, אלא מסגרת ממוחשבת המשלבת מספר שיטות הערכה באופן סימולטני.

InVEST כולל מודלים ספציפיים לשירותים שונים. **מודל לכידת פחמן**: מחשב את כמות הפחמן הנלכד והמאוחסן ביער ואת קצב הלכידה, ומעריך את הערך הכלכלי על פי מחירי פחמן בשוק או על פי העלות החברתית של פליטת פחמן. **מודל ויסות מים**: מעריך את תפקיד היער בהגברת חידור המים, בהפחתת הנגר העילי ובשיפור איכות המים. **מודל מניעת סחיפה**: מחשב את כמות הסחיפה שהיער מונע ואת ערך השירות. **מודל בתי גידול**: מעריך את איכות בתי הגידול ואת תרומתם למגוון הביולוגי.

שימוש במודלים האלה מאפשר הערכה מקיפה של מספר שירותים במקביל, שקלול תמורות (trade-offs) בין שירותים שונים והשוואת תרחישי ניהול חלופיים. ברחבי העולם שימש InVEST למאות מחקרים ופרויקטים, כולל לתכנון שימור, להערכת השפעות סביבתיות ולקביעת מדיניות.

שימוש בהערכה הכלכלית ביערות ישראל

הערכת שירותי יערות הכרמל לאחר השרפה

השרפה בכרמל בדצמבר 2010 הייתה נקודת מפנה בהבנת החשיבות של שירותי המערכת האקולוגית של יערות בישראל. מחקר שנערך לאחר השרפה (Raviv et al., 2021) מצא שהשינוי בערך שירותי המערכת בעקבות השרפה ושינויי כיסוי הקרקע יכול להגדיל את ערך השירותים ב-30–50 אחוזים. שירותי אספקת מזון וויסות מים הם התורמים הגדולים ביותר לערך שירותי המערכת – כ-17 ו-16 מיליון דולר בהתאמה לשטח של כ-25 אלף דונם.

יער יתיר: שירותי ויסות אקלים באזור צחיח

יער יתיר, היער הנטוע הגדול ביותר בישראל (30,000 דונם), נחקר באופן מעמיק מזה עשרות שנים על ידי חוקרים ממכון ויצמן למדע ומוסדות נוספים. מחקרים הראו שהיער מהווה מבלע פחמן נטו, וקולט פחמן מהאטמוספירה גם בתנאים

פוטנציאל ליישום PES בישראל

בישראל רוב היערות נמצאים בבעלות המדינה ומנוהלים על ידי קק"ל, מה שמקטין את הצורך במנגנוני PES למגזר הפרטי. עם זאת, ישנם תחומים שמנגנונים מסוג זה יכולים להיות רלוונטיים עבורם:

שיקום ושימור של חורשים פרטיים – חלק מהחורשים בישראל נמצאים בתחום שיפוטן של רשויות מקומיות, בבעלות מוסדות ציבוריים או על קרקעות פרטיות הרשומות בטאבו בבעלות משפחות, בעיקר באזורים כפריים בגליל ובמשולש. מנגנון PES יכול לעודד בעלים ומנהלים כאלה לשמר את החורש ולא להמירו לשימושים אחרים.

שיתוף המגזר הבדואי בשימור יערות הנגב – במקום גישה של אכיפה בלבד, ניתן לפתח מנגנון תשלום עבור שירותים שהאוכלוסייה הבדואית מספקת, באמצעות ניהול מתון של מרעה, מניעת שרפות ושמירה על היער.

שוקי פחמן – קק"ל יכולה למכור זיכויי פחמן משיקום יערות ומניהול יערות לגופים המעוניינים לקזז את פליטותיהם. המנגנון כבר קיים באופן מוגבל: קק"ל אימצה תוכנית קיזוז מרצון, המאפשרת לתורמים לאזן את פליטות הפחמן האישיות שלהם באמצעות נטיעת עצים בישראל. עם זאת, הניסיון להשתלב בשוקי הפחמן הבין-לאומיים הרשמיים (כגון CDM מפרוטוקול קיוטו) לא צלח עקב מכשולים בירוקרטיים, רוחניות כלכלית מוגבלת ועלויות רישום ומעקב גבוהות. המנגנון הזה יכול להתרחב ככל שהאסדרה הישראלית על פליטות פחמן תתפתח (Tal and Gordon, 2010). יישום מנגנוני PES דורש תשתית משפטית, מנגנוני מדידה ובקרה ומקורות מימון יציבים. אחד המנגנונים הבין-לאומיים, REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation), עוסק בהפחתת פליטות מבירוא יערות והתדרדרותם. זוהי מסגרת בין-לאומית הנכללת באמנת האקלים של האו"ם, ומאפשרת למדינות מפותחות לממן שימור יערות טרופיים כתחליף לצמצום פליטות ישיר. מנגנונים כאלה מציעים מסגרת לפיתוח שוקי פחמן יעריים, אך בישראל הנושא הזה טרם פותח באופן מלא. מנגנוני PES פשוטים כבר קיימים בישראל בצורה מוגבלת: למשל, גביית אגרות כניסה לפארקים לאומיים היא תשלום עבור שירותי נופש, וכך גם תשלומי מרעה מחקלאים לקק"ל. עם זאת, המנגנונים האלה אינם מותנים בביצועים מדידים כנדרש בהגדרה הרחבה של PES.

אתגרים ומגבלות בהערכה כלכלית

למרות התקדמות משמעותית בשיטות ההערכה, קיימים עדיין אתגרים ומגבלות בהערכה הכלכלית בספרות המחקר העולמית (Ninan and Inoue, 2013) וביישום שלהן בישראל. נקודת מוצא חשובה היא מגבלות הנתונים

מבחינת הערכה כלכלית, ניתן להעריך את הערך שהוסיף השירות הזה במהלך המשבר על ידי השוואה למחירי תחליפים (חדרי כושר, פארקי שעשועים) שהיו סגורים, או על ידי הערכת השיפור בבריאות הנפש והגוף. מחקרים ראשוניים מצאו עלייה משמעותית בנכונות לשלם עבור גישה ליערות ולשטחים טבעיים במהלך התקופה.

מנגנונים כלכליים לשימור: תשלום עבור שירותי מערכת אקולוגית

אחת התובנות המרכזיות שעולות מהערכה כלכלית של שירותי מערכת אקולוגית היא שרבים מהשירותים הללו הם בגדר טובין ציבוריים (public goods), כלומר, טובין שכל אחד יכול ליהנות מהם בחינם מבלי לשלם עבורם, ושניהול אחד מהם אינו מקטין את זמינותם לאחרים (כמו אוויר נקי או נוף). בגלל התכונות האלה אין להם מחיר שוק, ולכן לא נוצר תמריץ כלכלי אוטומטי לספקם (Engel et al., 2008). מנגנון תשלום עבור שירותי מערכת אקולוגית (Payment for Ecosystem Services – PES) נועד לתקן את הכשל על ידי יצירת שוק מלאכותי או מנגנון העברת תשלומים מאלה שנהנים מהשירות אל אלה שמספקים אותו.

עקרונות מנגנון PES

מנגנון PES מורכב בדרך כלל מארבעה מרכיבים עיקריים: א. מספק השירות – בעל קרקע או מנהל שטח המתחייב לנהל את הקרקע באופן שישמר או ישפר את אספקת שירות המערכת האקולוגית; ב. נהנה מהשירות – אדם, קהילה או ארגון הנהנה מהשירות ומוכן לשלם עבורו; ג. תשלום מותנה – העברת תשלום מהנהנה למספק, המותנה בביצוע פעולות ספציפיות או בהשגת תוצאות מדידות; ד. מנגנון ניטור ואכיפה – מערכת למדידת השירות ולוודא שהמספק מקיים את התחייבויותיו.

דוגמאות למנגנוני PES ביערות בעולם

מספר מדינות יישמו בהצלחה מנגנוני PES ליערות: בקוסטה ריקה ישנה תוכנית PES מהמוקדמות והמפורסמות בעולם (מאז 1997), המשלמת לבעלי קרקעות עבור שימור יער ושירותי המערכת האקולוגית (Pagiola et al., 2005). בסין התוכנית 'תבואה תמורת ירוק' (Grain for Green) מכסה עשרות מיליוני דונם, ומשלמת לחקלאים להמיר שדות חקלאיים מדורדרים ליערות במטרה להפחית את סחיפת הקרקע ולשפר את ויסות המים (Wunder et al., 2008). בקיטו, בירת אקוודור, הקהילות הכפריות במעלה הרי האנדים מקבלות תשלום עבור שימור יערות המספקים שירותי ויסות מים ואיכות מים לעיר (Pagiola et al., 2005).

את כמות המים העומדת לרשות היער ואת יכולתו להעשיר מי תהום.

סיכויי שרפות – עלייה בטמפרטורות וירידה בלחות מגבירות את הסיכון לשרפות יער.

שירותי נופש – תקופות חום קיצוניות עשויות להפחית את הנוחות והבטיחות לטיול ביערות בחלק מהשנה, אך מצד שני עשויות להגביר את הביקוש בעונות אחרות. הערכות כלכליות עתידיות צריכות להביא בחשבון את האי-ודאות הנובעת משינוי האקלים ולהשתמש בתרחישים שונים. נוסף על כך, יש לשקול אסטרטגיות הסתגלות, כמו ייעור במינים מותאמים יותר לבצורת, ניהול מתאים של צפיפות היער וניטור מתמיד של בריאות היער.

תרומת ההערכה הכלכלית לניהול יערות בר-קיימא

למרות האתגרים, הערכה כלכלית של שירותי מערכות אקולוגיות תורמת תרומה משמעותית לניהול יערות: **הצדקת השקעות בשימור** – הערכה כלכלית מאפשרת להראות למקבלי החלטות ולציבור את התועלת הכלכלית הגלומה בשימור יערות ובהשקעה בניהול בר-קיימא (Costanza et al., 2014), מה שיכול לסייע בהגדלת תקציבי שימור ושיקום.

השוואת חלופות – הערכה כלכלית מאפשרת להשוות בין שימושי קרקע שונים ובין תרחישי ניהול חלופיים. למשל, ניתן להשוות את התועלת הגלומה בייעור שטח מול פיתוח לחקלאות או לבנייה.

זיהוי קונפליקטים – הערכה מקיפה של כל השירותים מאפשרת לזהות קונפליקטים פוטנציאליים ולמצוא פתרונות איזון. למשל, ניתן לתכנן אזורי יער שונים בהתאם למטרותיהם – אזורי לשימור מגוון ביולוגי, אזורי לנופש ואזורי לייצור.

תקשורת עם הציבור – הצגת הערך הכלכלי של שירותי היער במונחים ברורים ונגישים מגבירה את המודעות ציבורית ואת התמיכה בשימור.

פיתוח מנגנוני מימון – הערכה כלכלית היא בסיס לפיתוח מנגנונים כמו תשלום עבור שירותי מערכת (PES), שיכולים לממן שימור ושיקום של יערות.

יישום בתורת ניהול היער של קק"ל

תורת ניהול היער של קק"ל (אסם ואח', 2014; אסם וצורף, 2019) משקפת גישה מתקדמת המבוססת על שירותי מערכות אקולוגיות. המטרה המוגדרת היא 'לספק מגוון שירותים של המערכת האקולוגית לתושבי הארץ', והמטרות הפרטניות כוללות: אספקת שירותי נופש וטיולים, שירותי ויסות (קיבוע פחמן, ייצור ראשוני, חידור מים), שמירה על קרקע ומים, אספקת תועלת כלכלית (מרעה, תפוקת עץ),

הקיימות בישראל. בניגוד למדינות עם מסורת ארוכה של ניטור אקולוגי שיטתי, בישראל חסרים בסיסי זמן ארוכים ומדידות עקביות לגבי תפקודים אקולוגיים רבים, כגון קצבי קיבוע פחמן בצמחים שונים, מאזני מים ביערות (שאינם יער יתיר), והמגוון הביולוגי לאורך זמן. מגבלה זו אינה רק טכנית אלא מהותית: ללא נתוני בסיס אמינים, כל שיטת הערכה – בין אם שיטת עלות הנסיעה, הערכה מותנית או מודלים כמו InVEST – תישען על הנחות שמרניות, ועלולה להניב אומדנים בעלי אי-ודאות גבוהה. מגבלה זו מובילה לכמה קשיים ספציפיים.

אי-ודאות ומורכבות אקולוגית – מערכות אקולוגיות הן מורכבות ודינמיות, וקשה לחזות באופן מדויק את השפעת שינויים עליהן (Ninan and Inoue, 2013). פרמטרים במודלים של הערכה כספית כרוכים באי-ודאות, והם עשויים להשתנות עם הזמן ובין אזורים.

קושי בכימות שירותים לא-מוחשיים – שירותי תרבות, ערכי קיום וערכים רוחניים קשים במיוחד לכימות במונחים כספיים. השיטות הקיימות, כמו הערכה מותנית, כרוכות בהטיות אפשריות ובקושי לקבל תוצאות מהימנות.

העברת ערכים בין הקשרים – שיטת העברת הערך נוחה, אך עלולה להוביל לטעויות כאשר ההבדלים בין האתרים משמעותיים. גורמים כמו הרכב אוכלוסייה, הכנסה, אקלים ותרבות משפיעים על ערך השירותים.

סוגיות אתיות ופילוסופיות – יש המטילים ספק בכלל בלגיטימיות של תמחור הטבע, בטענה שהוא מפחית את ערכו של הטבע למונחים כספיים בלבד, ויוצר תפיסה אינסטרומנטלית של הטבע.

שקלול תמורות – בין שירותי מערכת שונים קיימים לעיתים קונפליקטים בין שירותים שונים. למשל, ניהול יער לייצור עץ עשוי לפגוע בשירותי נופש או בלכידת פחמן. הערכה כלכלית יכולה לעזור לזהות את הקונפליקטים האלה, אך קביעת האיזון המתאים היא החלטה ערכית ומדינית.

שינוי האקלים והשלכותיו על שירותי מערכת

שינוי האקלים מציב אתגרים משמעותיים ליערות בישראל ולשירותי המערכת שהם מספקים (Tittensor et al., 2014). תחזיות אקלימיות מצביעות על עלייה בטמפרטורות, ירידה בכמות המשקעים והגברת תדירות אירועי קיצון, כמו בצורות, גלי חום ואירועי גשם חריגים. השינויים האלה צפויים להשפיע על שירותי המערכת האקולוגית.

קצב לכידת הפחמן – עלייה בטמפרטורות עשויה להגביר את קצב הנשימה של העצים והקרקע, ולהפחית את קצב לכידת הפחמן הנטו. מאידך גיסא, עלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה עשויה להגביר פוטוסינתזה (CO₂ fertilization effect).

ויסות מים – ירידה במשקעים ועלייה באידוי עשויות להקטין

שימור שטחים פתוחים, יצירת אזורי חיץ, חיזוק הזיקה לטבע, תמיכה במגוון הביולוגי ועוד. תורה זו מהווה מסגרת לתכנון ארוך טווח של יערות, המתבסס על חלוקה ליחידות ייעודיות – כל יחידה בעלת מטרות ספציפיות המתאימות למאפייניה ולשירותי המערכת האקולוגית שהיא יכולה לספק בצורה מיטבית.

היישום המעשי של הגישה כולל הכנת תוכניות אב ליערות בודדים. בתוכניות מוגדרים יעודים שונים לאזורים שונים: יער שמורה (לשימור ערכי טבע ומגוון ביולוגי), יער רב-תכליתי (לאיזון בין מספר שירותים) ואזורי נופש מרוכזים. הגישה מבוססת על ניהול מסתגל (adaptive management) המאפשר התאמות על פי תוצאות ניטור ומחקר.

סיכום ומבט לעתיד

שירותי מערכות אקולוגיות של יערות הם נכס לאומי אסטרטגי התורם לרווחת האדם, לכלכלה ולאיוכות הסביבה (TEEB, 2010). בישראל, עם שטח יער מוגבל וצפיפות אוכלוסייה גבוהה, יערות ממלאים תפקיד חשוב במיוחד באספקת שירותים מגוונים – מליכת פחמן, דרך ויסות מים ומניעת סחיפה, ועד אספקת הזדמנויות לנופש ולחיבור לטבע.

הערכה כלכלית של השירותים האלה היא כלי חיוני לקבלת החלטות מושכלות ולניהול בר-קיימא (Liu et al., 2010). השיטות המפורטות במאמר זה – מהערכות מבוססות שוק, דרך שיטות העדפות מוצהרות ועד כלים מתקדמים כמו InVEST – מאפשרות לכמת את התועלת הכלכלית של יערות ולהשוות בין חלופות ניהול שונות. יישום השיטות בישראל, כפי שהודגם במחקרים על הכרמל, יער יתיר ויערות הצפון, מספק בסיס ראייתי לקביעת מדיניות.

כדי להמשיך ולשפר את הערכת שירותי המערכת האקולוגית של יערות בישראל, נדרש מחקר נוסף במספר תחומים:

פיתוח מודלים מותאמים למצב הישראלי – רוב המודלים, כמו InVEST, פותחו עבור תנאים אקולוגיים שונים. יש צורך בהתאמה לאקלים הים תיכוני והצחיח ולמאפיינים הייחודיים של יערות נטועים. **בסיסי נתונים ארוכי טווח** – נדרש ניטור שיטתי ועקבי של תפקודים אקולוגיים, כמו קיבוע פחמן וחדור מים. קק"ל החלה בניטור מסוג זה במספר אתרים, אך יש צורך בהרחבה. **הערכת שקלול תמורות** – מחקר מעמיק על הקונפליקטים בין שירותים שונים, למשל בין ניהול לייצור עץ לבין מניעת סחיפה, או בין נופש אינטנסיבי לבין לכידת פחמן. **שירותי תרבות** – פיתוח שיטות חדשות להערכת שירותים לא-מוחשיים כמו ערכי מורשת, קשר רוחני לטבע והשפעות בריאותיות. ניתן לשלב כאן שיטות מתחום מדעי החברה והפסיכולוגיה. **שילוב עם תכנון מרחבי** – שימוש במערכות ממשל וניתוח מרחבי כדי לזהות אזורים בעלי ערך גבוה במיוחד מבחינת שירותי מערכת אקולוגית, ושילוב הממצאים בתכנון לאומי ואזורי.

עם זאת, חשוב לזכור שהערכה כלכלית היא רק אחד הכלים בארגז הכלים של ניהול יערות. ערכים אתיים, אסתטיים ותרבותיים של יערות חורגים מהיכולת של כל שיטת הערכה לתמחר אותם, והחלטות על ניהול יערות צריכות להתבסס על שיקולים רחבים יותר. כמו כן, יש להתייחס לאי-ודאות הגלומה בכל הערכה ולעדכן הערכות באופן קבוע לאור ידע חדש ושינויים בסביבה.

בעידן של שינוי האקלים, גידול אוכלוסייה ולחצים מתגברים על משאבי טבע, חשיבותה של הבנה מעמיקה של התרומה הכלכלית והחברתית של יערות הולכת וגדלה. המשך היישום של גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון ובניהול של יערות, כפי שמשתקף בתורת ניהול היער של קק"ל ובמחקרים שונים, הוא צעד חשוב לקראת עתיד בר-קיימא. פיתוח מנגנונים כלכליים, כמו PES, שילוב טכנולוגיות חדשות להערכה וניטור ושיתוף פעולה בין-תחומי בין אקולוגים, כלכלנים, מתכננים וקובעי מדיניות – כל אלה יאפשרו ניהול מיטבי של היערות לטובת הדור הנוכחי והדורות העתידיים.

מקורות

לונטן א, גרוסברד ש, ספריאל א ופייטלסון ע (עורכים). 2019. **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית, דו"ח ממצאי מפתח**. מוזיאון הטבע על שם שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
פליישר ע ובקר נ (עורכים). 2018. התרומה לרווחת האדם – כלכלה. בתוך: **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הפרקים המלאים**. 2021. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.

אסם י, ברנד ד, טאובר י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. **תורת ניהול היער בישראל: מדיניות והנחיות לתכנון ולמשק היער**. קרן קימת לישראל.
אסם י וצורף ח. 2019. **תורת ניהול היער בישראל: דילול יער מחטני**. מסמך מדיניות והנחיות מקצועיות. קרן קימת לישראל.
בקר נ וחורש י. 2007. הערכה כלכלית של נופש בטבע: אומדן שווי יער ביריה בשיטת עלות הנסיעה. **יער**, 9, 27–34.

- Merlo M and Croitoru L (Eds). 2005. *Valuing Mediterranean Forests: Towards Total Economic Value*. CABI International, Wallingford.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being Synthesis*. Island Press, Washington DC.
- Ninan KN and Inoue M. 2013. Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't. *Ecological Economics*, 93, 137–149.
- Nowak DJ, Hirabayashi S, Bodine A, and Greenfield E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119–129.
- Pagiola S, Arcenas A, and Platais G. 2005. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Development*, 33(2), 237–253.
- Pichlerová M, Výboštok J, Ōnkal D, Lamatungga KE, Tamatam D, Marcineková L, et al. 2023. Increased appreciation of forests and their restorative effects during the COVID-19 pandemic. *Ambio*, 52(3), 647–664.
- Potchter O, Cohen P, and Bitan A. 2006. Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 26(12), 1695–1711.
- Raviv O, Zemah-Shamir S, Izhaki I, and Lotan A. 2021. The effect of wildfire and land-cover changes on the economic value of ecosystem services in Mount Carmel Biosphere Reserve, Israel. *Ecosystem Services*, 49, 101291.
- Rohatyn S, Rotenberg E, Ramati E, Tatarinov F, Tas E, and Yakir D. 2018. Differential impacts of land use and precipitation on "ecosystem water yield". *Water Resources Research*, 54(8), 5457–5470.
- Rotenberg E and Yakir D. 2010. Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327(5964), 451–454.
- Sharp R, Douglass J, Wolny S, Arkema K, Bernhardt J, Bierbower W, et al. 2020. InVEST 3.9.0. post24+ ug. g66b919f User's Guide. The Natural Capital Project.
- Tal A. 2002. *Pollution in a Promised Land: An Environmental History of Israel*. University of California Press, Berkeley.
- Tal A and Gordon J. 2010. Carbon cautious: Israel's afforestation experience and approach to sequestration. *Small-Scale Forestry*, 9(4), 409–428.
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). 2010. *Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB*. Geneva, Switzerland.
- Tittensor DP, Walpole M, Hill SL, Boyce DG, Britten GL, Burgess ND, et al. 2014. A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. *Science*, 346(6206), 241–244.
- Van Renterghem T, Botteldooren D, and Verheyen K. 2012. Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration*, 331(10), 2404–2425.
- Wunder S, Engel S, and Pagiola S. 2008. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics*, 65(4), 834–852.
- Becker N and Freeman S. 2009. The economic value of old growth trees in Israel. *Forest Policy and Economics*, 11(8), 608–615.
- Brander LM, de Groot R, Schägner JP, Guisado-Goñi, van't Hoff V, Solomonides S, et al. 2024. Economic values for ecosystem services: A global synthesis and way forward. *Ecosystem Services*, 66, 101606.
- Buckley R and Brough P. 2017. Economic value of protected areas via visitor mental health. *Nature Communications*, 8, 1423.
- Chirino E, Bonet A, Bellot J, and Sánchez JR. 2006. Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain. *Catena*, 65(1), 19–29.
- Costanza R, de Groot R, Sutton P, Van der Ploeg S, Anderson SJ, Kubiszewski I, et al. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158.
- Dai X, Felsenstein D, and Grinberger AY. 2023. Viewshed effects and house prices: Identifying the visibility value of the natural landscape. *Landscape and Urban Planning*, 238, 104818.
- Daily GC. 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press. Washington.
- de Groot R, Brander L, van der Ploeg S, Costanza R, Bernard F, Braat L, et al. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61.
- Derks J, Giessen L, and Winkel G. 2020. COVID-19-induced visitor boom reveals the importance of forests as critical infrastructure. *Forest Policy and Economics*, 118, 102253.
- Engel S, Pagiola S, and Wunder S. 2008. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological Economics*, 65(4), 663–674.
- Farber SC, Costanza R, and Wilson MA. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 41(3), 375–392.
- Fang CF and Ling DL. 2003. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63(4), 187–195.
- Gascon M, Triguero-Mas M, Martínez D, Dadvand P, Fornis J, Plasencia A, et al. 2015. Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(4), 4354–4379.
- Grünzweig JM, Lin T, Rotenberg E, Schwartz A, and Yakir D. 2003. Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology*, 9(5), 791–799.
- Inbar M, Tamir M, and Wittenberg L. 1998. Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology*, 24(1), 17–33.
- Liu S, Costanza R, Farber S, and Troy A. 2010. Valuing ecosystem services *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185, 54–78.
- Lotan A, Kost R, Mandelik Y, Peled Y, Chakuki D, Shamir SZ, et al. 2018. National scale mapping of ecosystem services in Israel—genetic resources, pollination and cultural services. *One Ecosystem*, 3, e25494.



משתלת עצי היער ההיסטורית ליד קיבוץ עין השופט, 1966
צילום: עוזי פז, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

שירותי תרבות של מערכות אקולוגיות ביערות ובחורשות

יעל רם

המכללה האקדמית אשקלון
ramy@edu.aac.ac.il

תקציר

לסיכום, המאמר קורא לניהול קפדני שמטרתו להפיק את
מרב התועלת לאדם תוך צמצום הסיכונים הסביבתיים
והאנושיים.

מאמר זה סוקר את שירותי התרבות של מערכות אקולוגיות
ביערות ובחורשות, ומנתח את הקשר שבין הטבע לרווחת
האדם בהתבסס על מודל "מפל המים" המקשר בין מערכות
אקולוגיות, שירותים, תועלת וערכים. הסקירה מפרטת את
מגוון סוגי התועלת שהאדם מפיק מהיער, הכולל פעילות
פנאי אקטיבית, ערכים אסתטיים ורוחניים, כמו גם תועלת
בריאותית (כגון רפואת יער), פיזיולוגית ונפשית. המאמר
בוחן את ההבדלים בין יערות טבעיים לנטועים, ומדגיש את
חשיבותם של יערות עירוניים ויערות בשולי הערים להנגשה
לציבור הרחב, בייחוד לנוכח מגבלות נגישות ותחבורה
ליערות מרוחקים. לצד התועלת עולות מהניתוח השפעות
שליליות של המערכת האקולוגית, ובראשם התגברות סכנת
השרפות בממשק שבין היער לעיר עקב שינוי האקלים.

מילות מפתח

השפעות שליליות של המערכת האקולוגית, רפואת יער,
שירותי מערכת אקולוגית, שירותי תרבות של מערכת
אקולוגית

מבוא

לעיתים קרובות נטועה או מבודדת. היערות והחורשות מספקים לאדם שירותי מערכת אקולוגית מגוונים ותורמים לרווחתו.

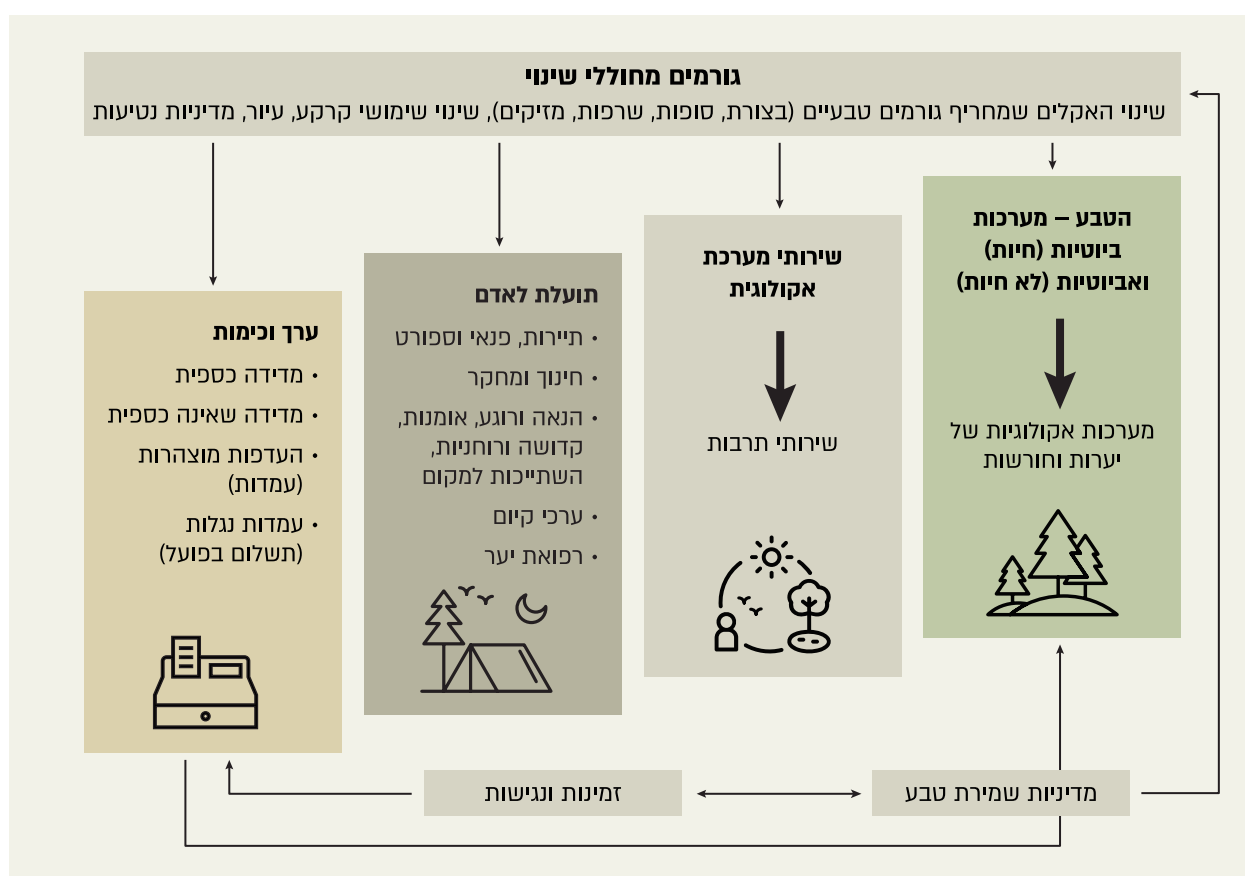
מאמר זה סוקר סוג אחד של שירותי מערכת אקולוגית – שירותי תרבות – ומנתח כיצד יערות וחורשות מספקים תועלת לאדם, ומהם הנזקים הפוטנציאליים לאדם שנובעים מקיומו של היער. המאמר פותח בהצגת המשגת שירותי המערכת האקולוגית, מפרט את שירותי התרבות של יערות וחורשות בעולם ובישראל, מציג את הגורמים המחוללים שינוי במערכות האקולוגיות האלה, ואת השפעת השינויים הללו על אספקת שירותי התרבות של יערות וחורשות.

שירותי מערכת אקולוגית

הקשר בין שירותי המערכת האקולוגית לאדם מושווה למפל מים (Potschin and Haines-Young, 2016; Zhang et al., 2022) ומוצג באיור 1. בראש המפל נמצא הטבע –

המשגת שירותי המערכת האקולוגית נועדה לחבר, רעיונית ומעשית, בין מערכות אקולוגיות למערכות חברתיות וכלכליות (Haines-Young and Potschin, 2018; Zhang et al., 2022). שירותי המערכת האקולוגית מוגדרים כתהליכים וכרכיבים במערכות האקולוגיות המשפיעים באופן ישיר או עקיף על רווחת האדם (כהן-שחם וגרוסברד, 2021). מהגדרה זו נובע גם הקישור שנעשה בין הטבע לאדם, כאשר הטבע הוא בצד המעניק, והאדם בצד הנהנה.

המערכת האקולוגית של יערות וחורשות כוללת שני מונחים שונים מבחינה מדעית. הגדרת ארגון המזון והחקלאות של האו"ם (FAO, 2018) ליער היא שטח של 5 דונם ומעלה, עם כיסוי צמרות של 10% לפחות, ועצים המסוגלים להגיע לגובה של 5 מטרים ומעלה בבגרותם. ההבדל המרכזי בין יער לחורשה הוא שיער הוא מערכת אקולוגית גדולה ומורכבת, בעוד שחורשה היא קבוצת עצים קטנה ומצומצמת יותר,



איור 1

שירותי תרבות של מערכות אקולוגיות של יערות ושל חורשות בהמשגת מפל המים
עיבוד גרפי לרעיונות מתוך: Potschin and Haines-young, 2016; Zhang et al., 2022.

כנאי וספורט, וכן לתועלת אינטלקטואלית: פעילויות חינוך ומחקר. התנסויות סבילות (צפייה והתבוננות) של בני האדם במערכות אקולוגיות תורמות בעיקר לתועלת מופשטת: הנאה רוחנית ואסתטיקה, השתייכות למקום, רוחניות וקדושה וכן ערך הקיום (רם, 2018). Plieninger ואח' (2013) סיכמו את התועלת של שירותי התרבות לאדם בשבעה סוגי ערכים: ערכים רוחניים, ערכים חינוכיים (כולל מחקר), ערכים של השראה מחשבית, עסקית או אומנותית, ערכים אסתטיים, תחושת שייכות למקום, ערכים של מורשת תרבותית וערכים של תיירות ובילוי בטבע.

קיים מתח מובנה בין רעיון הכימות כנדבך מרכזי בהמשגת שירותי מערכת אקולוגית לבין התועלת המופשטת של שירותי התרבות (Smith and Ram, 2017). מאמר הסקירה של Cheng ואח' (2019) ריכז 20 שיטות מדידה שונות לשירותי תרבות, הנחלקות לארבע קבוצות, על פני שני צירים מרכזיים. הציר הראשון מבטא מדידה כספית (כסף שהושקע או שנחסך) מול מדידה שאינה כספית (כגון מספר מבקרים, מספר תמונות שהועלו לרשת). הציר השני מתייחס להעדפות נגלות (נתוני אמת) לעומת העדפות מוצהרות (דיווחי משתתפים בשאלונים).

מחקרם של Raviv ואח' (2020) להערכת שירותי המערכת האקולוגית של השמורה הביוספרית בכרמל מדגים שימוש במדידה כספית בהתאם להערכות נגלות ומוצהרות. העדפות הנגלות במחקר התבססו על עלויות הנסיעה בהתאם למרחק ממקום המגורים, ונאמדו בממוצע בכ-10 דולר למשתתף בסקר. העלויות המוצהרות, שבאו לידי ביטוי בערך כספי משוער שכל משתתף בסקר מסכים לתרום לשימור הכרמל, עמדו על כ-50 דולר בממוצע למשתתף. הפערים הגדולים בין העלויות הנגלות והמוצהרות, וכן סטיות התקן הגדולות בסקר עצמו (9.5 ו-59 דולר, בהתאמה) מצביעים על הקשיים במדידה כספית של שירותי התרבות.

שירותי מערכת אקולוגית של יערות ושל חורשות

היערות והחורשות מספקים שירותי אספקה, ויסות ותרבות לבני האדם (Torralba et al., 2020; MEA, 2005; Mann et al., 2022; Hernández-Morcillo et al., 2022). שירותי האספקה כוללים עץ לבנייה ולאנרגיה, וכן מזון (חי וצומח). שירותי הוויסות כוללים הדברה וסינון מים, לכידת פחמן ומקום מחיה לחי ולצומח (Mann et al., 2022). חלק משירותי התרבות חופפים לשירותי האספקה (דיג, ציד וליקוט), וחלק מובחנים, כגון קמפינג, ספורט, הליכה עם כלבים, רכיבה על סוסים, צפרות, חוויות אסתטיות ורוחניות, ביקור באתרי מורשת, חינוך לטבע ומחקר (Torralba et al., 2020).

מערכות ביוטיות (חיות) ואביוטיות (שאינן חיות), הנחוצות על ידי האדם במקום עצמו או בחוויה מרחוק (לדוגמה, על ידי צפייה בסרט טבע). האדם מפיק תועלת משלושת סוגי השירותים הסופיים: משירותי אספקה האדם מקבל, למשל, חימום ואוכל; משירותי הוויסות האדם מפיק תועלת כדוגמת הדברה או דישון; משירותי התרבות האדם יכול להפיק, בין השאר, תועלת של תיירות, אסתטיקה או רוחניות.

בתחתית המפל המטפורי של שירותי המערכת האקולוגית נמצאים הערכים. כל תועלת הנובעת משירותים יכולה להיות מוערכת או ממומנת במונחים כספיים (כמה כסף השירות חסך או עלה) או במונחים שאינם כספיים, כגון כמה יצירות מופת חוברו בעקבות ההשראה ממקום מסוים או כמה מבקרים שהו בו. לסך כל הערכים חשיבות גדולה. הערכים האלה, שנובעים מסך כל סוגי התועלת, ומתקבלים מסך כל השירותים, עלולים להוביל ללחץ על הטבע, שכן תועלת כספית דוחפת משקיעים ופיתוח. לעומת זאת, תועלת רוחנית יכולה להשפיע על מקבלי החלטות לשמר את המערכת האקולוגית כדי למנוע את דרדורה. הפלטפורמה הבין-ממשלתית לממשק של מדע ומדיניות בתחומי המגוון הביולוגי ושירותי המערכת האקולוגית (IPBES) נועדה להדגים למקבלי ההחלטות מה הערך של הטבע לאדם (IPBES, 2022) ובצורה זו לסייע לתרגם ערכים למדיניות של שימור ופיתוח בר-קיימא.

שירותי המערכת האקולוגית תלויים בבריאות הטבע. Hernández-Blanco ואח' (2022) הציגו המשגה של תגובת שרשרת, שלפיה מדיניות (של פיתוח שאינו בר-קיימא או לחלופין של שימור) מביאה לסדרה של החלטות ניהוליות, המשפיעות על גורמים מחוללי שינוי במערכת האקולוגית ומעצבות אותם. השינוי במערכת האקולוגית גורם לשינוי בשירות שהיא מספקת לאדם, והשינוי מתבטא בהערכה כמותית. בהערכה הישראלית של שירותי המערכת האקולוגית הוזכרו שינויים בשימושי קרקע, זיהום, דישון, ניצול יתר של משאבי טבע, מינים פולשים ושינוי האקלים כגורמים מחוללי שינוי בעלי השפעה ישירה על המערכות האקולוגיות המקומיות, ולפיכך גם על התועלת לאדם (פרג ואח', 2019).

שירותי תרבות של מערכת אקולוגית

שירותי תרבות הם שירותי מערכת אקולוגית המעשירים את חייהם של בני אדם באמצעות תועלת שמופקת מהתנסויות פעילות וסבילות, או תועלת שמתייחסת לערך הקיום. ההתנסויות הפעילות של בני האדם עם מערכות אקולוגיות תורמות בעיקר לתועלת פיזית: תיירות, פעילות

ליער המחטני (אורנשטיין, 2022). במילים אחרות, אנשים מפיקים תועלת מצפייה ביער לא בשל ערכיו האסתטיים אלא בזכות התרומה החיובית של הנוף למצב הרגשי הכללי. בעשורים האחרונים התפתחה גם ההבנה על אודות הקשר שבין יער לבריאות נפשית, פיזית וקוגניטיבית. מחקרים רבים הדגימו את הקשר שבין שהות או חשיפה ליער לבין הטבה במדדים גופניים, רגשיים וקוגניטיביים (קפלן-מינץ ואח', 2021). ביטוי נוסף לכך היא פיתוח של רפואת יער. ברפואת יער (ביפנית: שינרין-יוקו) המשתתפים נטמעים ביער במטרה להיחשף לאווירה המיוחדת שלו. מחקרים פיזיולוגיים נרחבים ביפן ובקוריאה הראו כי לשהייה זו השפעות מידדות ומשמעותיות, ובראשן הפחתה ברמות הקורטיזול (הורמון הלחץ) והורדת לחץ דם ודופק (Park et al., 2010). יתרה מכך, חשיפה לאוויר היער, העשיר בפיטונצידיים (phytoncides) – תרכובות אורגניות נדיפות הנפלטות מעצים – נמצאה כגורם המוביל לעלייה משמעותית בפעילות מערכת החיסון (Li, 2010). הממצאים האלה כוללים גם ערכים בריאותיים, נוסף על ערכים חומריים ולא חומריים וערכי ייחוס, כאמור, ומדגישים את התועלת לאדם מיערות ומחורשות.

גישה ליערות טבעיים ונטועים ושימוש בהם בישראל

שירותי התרבות של היערות הטבעיים והנטועים תלויים בשימוש בהם. אם בני האדם אינם מפיקים תועלת מהיערות, הרי שהיערות אינם מספקים שירותי תרבות. אי לכך, שאלת זמינותם של שירותי התרבות משמעותית, כיוון שהפרט צריך לחוות את השירות באופן אישי כדי להפיק ממנו תועלת (רם, 2018; De Groot et al., 2010). ניתוח מאפייני תמונות, שהועלו על ידי משתמשים לאתרי שיתוף תמונות, העלה כי מבין היערות בישראל, יערות בן שמן, הכרמל ואזור מירון נמצאו כיעדים פופולריים המושכים קהל רב המצלם תמונות (רם, 2018), ומכאן, זמינים לציבור.

עם זאת, הנגישות ליערות בן שמן, הכרמל ומירון מוגבלת בעיקר לכלי רכב פרטיים, עקב מיעוט שירותי תחבורה ציבורית במהלך השבוע ובעיקר בסופו (רם, 2018). לכן, ניתן להסיק כי שירותי התרבות המופקים מהיערות האלה אינם זמינים לכלל הציבור, ומתאפשרים בעיקר למי שביכולתו להשתמש ברכב פרטי. עם הנפגעים הפוטנציאליים נמנים משקי בית חסרי רכב פרטי, אנשים שאינם יכולים לנהוג, ותיירים עצמאיים שלא במסגרת טיול מאורגן (רם, 2019). דווקא נגישותם החלקית של היערות הפופולריים בישראל

(al., 2020). יערות נטועים או טבעיים בחלקם מספקים שירותים דומים ליערות טבעיים לחלוטין. עם זאת, יש הבדל במגוון המינים, ביכולות ההתחדשות ובתפקוד המערכות האקולוגיות, אך ההבדלים האלה מיטשטשים ככל שהזמן חולף, וכן תלויים במדיניות הנטיעות שמממעת בדשנים ובניצול מים ומתמקדת במינים מתאימים ובשמירה על מגוון המינים.

סוגי שירותי תרבות של מערכות אקולוגיות של יערות וחורשות

שירותי התרבות המופקים מיערות ומחורשות תלויים בקשר שבין האדם ליער. Himes (2025) מנתח את סוג שירותי התרבות בהתאם לסוג היער, ומונה חמישה טיפוסי יערות: יער נטוע לאספקת עצים, יער בשטח מוגן, יער עירוני, יער תרבותי ויער קדוש. לא רק שהתועלת לאדם מכל סוג של יער שונה, אלא גם מערכות החוקים והאיסורים נבדלות. ביערות מוגנים וקדושים אסורות חלק מפעילויות התרבות, כגון ליקוט וציד, ואפשרויות פיתוח השטח והנגשתו לאדם מוגבלות. עם זאת, שירותי התרבות של היערות הטבעיים גבוהים מאלה של יערות נטועים בכל הקשור לערכים דתיים ואסתטיים (Baral et al., 2016).

יערות עירוניים ובשולי הערים יכולים לספק לבני האדם תועלת רבה, הכוללת בילוי, פיתוח קוגניטיבי, אסתטיקה ורוחניות, ולכן הפוטנציאל שלהם כספקי שירותי תרבות הוא רב ביותר (Crețan et al., 2024). נוסף על כך, היערות מאפשרים מפגשים חברתיים בטבע, שכן הם מספקים צל, אוויר נקי, סביבה טבעית וצמחייה. תרומה זו של הטבע לקשרים בין אנשים מתבטאת בשירותי התרבות של ערכי ייחוס (אורנשטיין, 2022), ואכן Kaplan-Mintz (2024) ואח' מצאו כי שהייה בחברה ביער תרמה יותר לערכים רגשיים חיוביים בהשוואה לשהייה ביער ללא חברה. הם מצאו גם כי התנסויות פעילות של מבקרים ביערות טבעיים ונטועים בצפון ישראל, כגון ספורט או הליכה, קושרו לערכים רגשיים חיוביים יותר מאשר התנסויות סבילות של הירגעות ומנוחה בקרב אותם מבקרים.

שירות תרבות נוסף שמספקים היערות נוגע לצפייה בנוף המיוער. בסקר בין-לאומי נמצא שנוף מיוער תורם בעיקר לתחושה רגשית חיובית, הכוללת הפחתת לחצים ותחושת התרגעות ומנוחה (Ram and Smith, 2022). דווקא האסתטיקה של הנוף המיוער לא נמצאה עדיפה על פני נופים אחרים, ממצא שחזר גם במדגמים ישראליים הנוגעים

בעשורים האחרונים בנטיעת יערות בעלי מאפיינים טבעיים ככל האפשר (מבחינת גובה, פריסה, הטרוגניות וסוג עצים), לצד יעדים חברתיים ואידאולוגיים המלווים את הארגון מאז היווסדו (Perevolotsky and Sheffer, 2009).

איור 1 ממחיש כיצד מערכות אקולוגיות של יערות וחורשות תורמות לרווחת האדם, אך גם מושפעות מגורמים מחוללי שינוי וכן ממדיניות שמירת טבע. נוסף על כך, האיור מדגים כיצד נושאים של זמינות ונגישות משפיעים על התועלת לאדם ועל ערכי התועלת.

השפעות שליליות של יערות בקרבת ערים

מן האמור עד כה עולה הרושם כי ניתן לקבל שירותי תרבות רבים יותר מיערות ומחורשות בקרבת ערים יחסית ליערות מרוחקים. היערות נגישים יחסית, ומאפשרים ערכי ייחוס וכן תועלת פיזית ורוחנית (אורנשטיין, 2022; Crețan et al., 2024) לאוכלוסייה גדולה ומגוונת. נוסף על כך, היערות הללו מספקים שירותי ויסות ואספקה, ומסייעים במיתון השפעות שינוי האקלים (MEA, 2005; Torralba et al., 2020; Hernández-Morcillo et al., 2022; Mann et al., 2022). עם זאת, ליערות הסמוכים לערים נקשרו גם נזקים, המכונים השפעות שליליות של שירותי מערכת אקולוגית (Lyytimäki et al., 2008) (disservices).

שירותי המערכת האקולוגית השליליים אופייניים בייחוד לממשק בין היערות לערים ולשטחים הבנויים. ממשק זה כולל שטחים טבעיים באופן מלא או חלקי, ולא רק יער וחורש, ומכאן שמו, WUI: Wildland-Urban Interface (Tikotzki et al., 2023). אחת מההשפעות השליליות של שירותי המערכת האקולוגית של היערות בקרבת ערים היא שרפות יער (Roman et al., 2021). לשרפת יער קלה יש כמובן גם יתרונות – היא מפנה צמחייה מיותרת, מחזירה נוטריינטים לקרקע, ומאפשרת את התחדשות היער, אך כשהיא יוצאת משליטה נוצרת בעיה. Levin ואח' (2016) מצאו שרוב מקרי שרפת היער בישראל התרחשו סמוך לשטחים בנויים ומאכלסים. שרפות שיוצאות משליטה מסכנות את המערכת האקולוגית של היער ואת השטחים הבנויים הסמוכים לו, ובכך הופכות את היער לסכנה מוחשית לסביבה הטבעית והאנושית. סיכום של התועלת וההשפעות השליליות של יערות ניתן לראות באיור 2.

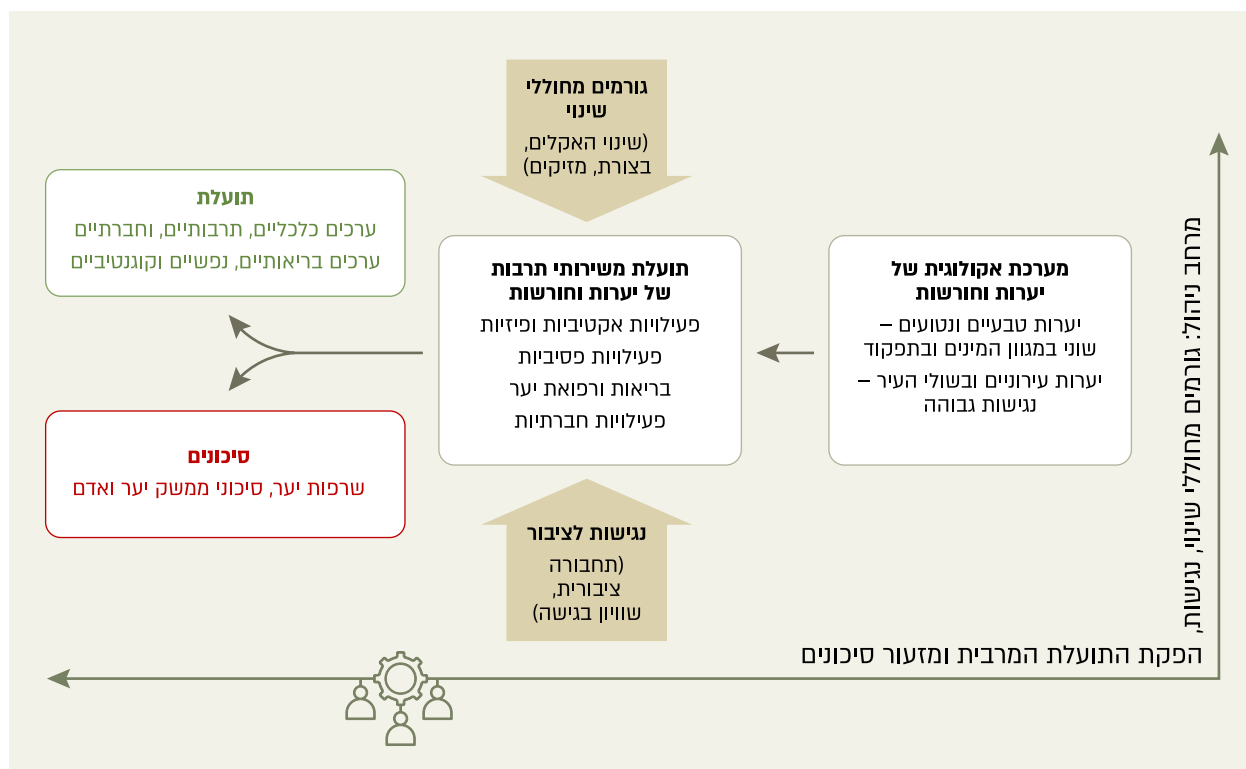
מדגישה עוד יותר את חשיבותם של יערות עירוניים ובשולי הערים, בהיותם זמינים ונגישים לכלל האוכלוסייה, ועם תלות נמוכה יחסית בכלי רכב פרטיים ובתחבורה ציבורית.

גורמים מחוללי שינוי והשפעתם על שירותי התרבות של יערות וחורשות

רוב השינויים הקשורים למערכות אקולוגיות של יערות ושל חורשות קשורים לכריתת יערות, כלומר להפיכת שטח שהיה עם עצים, לשטח בלי עצים, ללא צמיחה משמעותית וחדשה (Curtis et al., 2018). ניתן לחלק את הגורמים מחוללי השינוי באופן גס לגורמים שקשורים ושאינם קשורים לבני האדם, עם חפיפה שהולכת וגדלה בין שני הסוגים. בין הגורמים הקשורים באופן ישיר לבני האדם ניתן לכלול כריתת יערות מכוונת בשל שינוי שימושים בקרקע וייעודה מחדש לחקלאות, למכרות או לתשתיות, שרפות יער ועיור (Curtis et al., 2018). את הגורמים הטבעיים ניתן לחלק לגורמים אביוטיים כדוגמת שרפות, בצורות, רוחות וסופות, ולגורמים ביוטיים, ובהם חרקים ומזיקים (Seidl et al., 2017). הגורמים הטבעיים, אביוטיים וביוטיים כאחד, מועצמים בשל שינוי האקלים (Seidl et al., 2017; FAO, 2024).

צמיחה מחדש של יערות מתרחשת כאשר מסיבות שונות, כגון זניחת גידולים חקלאיים, היער מתפשט מחדש, וכן כאשר מיושמת מדיניות נטיעות נרחבת (Curtis et al., 2018). ייעור מחדש נחשב לאחת הדרכים למיתון שינוי האקלים על ידי לכידת פחמן דו-חמצני (Bastin et al., 2019). במסגרת מדיניות הייעור, התפשטות מחדש של היער עדיפה על נטיעה נרחבת מבחינת לכידת פחמן דו-חמצני (Lewis et al., 2019) ולטובת כלל שירותי המערכת האקולוגית (Chazdon and Brancalion, 2019). בכל מקרה, ייעור מחדש של אזורים שונים כהתפשטות מחדש או כחלק ממדיניות נטיעות, צריך להביא בחשבון את המצב הטבעי של היער, ולא להתפשט מעבר לגבולותיו הטבעיים (Bastin et al., 2019).

גם בישראל גורמי השינוי של יערות וחורשות מתייחסים לדלדול יערות ולצמיחתם, והם יכולים להיות מעשי ידי אדם או טבע. הגורמים הבולטים לדלדול הם שרפות חורש ויער, אירועי בצורת, מזיקים וסופות חורף (Klein et al., 2019). קידום הצמיחה משתקף במדיניות הייעור של קק"ל, שדוגלת



איור 2

תועלת וסיכונים – שירותי תרבות של יערות וחורשות

מסקנות וסיכום

כדי להפיק את המרב מהמשק בין האדם לטבע ולאפשר ערכיות גבוהה במונחים כספיים ולא כספיים נדרשים מחקר נוסף וכן ניהול שטחים קפדני, בדגש על תכנון וניהול נכון של היערות והממשקים. שיתופי פעולה בין מומחים בתחומים שונים, ובין השטח לאקדמיה נדרשים במיוחד (קפלן-מינץ ואח', 2021; Taccaliti et al., 2023), בוודאי במדינה צפופה כמו ישראל, הסובלת כמו שאר מדינות הים התיכון, משינוי האקלים שמביא לאירועי שרפות תכופים.

לסיכום, שירותי התרבות של יערות וחורשות תלויים הן בגורמים מחוללי שינוי הן בגישה ובנטיעות ליערות. ניהול נכון יכול לצמצם את השפעתם השלילית של גורמים מחוללי שינוי, לשפר את אפשרויות הגישה, ולאפשר להפיק מהם את מרב התועלת.

מערכות אקולוגיות של יערות וחורשות מספקות תועלת מגוונת לאדם, כולל שירותי תרבות. שירותי התרבות כוללים התנסויות פעילויות (כגון ספורט או הליכה) סבילות (כגון התרגעות), חברתיות וכן בריאותיות (כגון רפואת יער). עם זאת, שירותי התרבות תלויים בגישה של האדם לאותם יערות. יערות הקרובים לערים מספקים תועלת רבה לבני האדם בהקשר של שירותי תרבות, אך גם יכולים לגרום להן ולתושביהן נזק בשל שרפות טבעיות ומעשה ידי אדם. איור 1 מדגים את הקשר שבין האדם לסביבה, וכיצד הנטיעות לשירותי התרבות משפיעה על התועלת שהאדם יכול להפיק מהם. אך דווקא העובדה שהיער נגיש לאדם יכולה לגרום לנזק, בעיקר בשל שרפות יער, שעלולות להיגרם מפעילות אנושית רשלנית או מכוונת וכן מגורמים אחרים (למשל ברקים).

- IPBES. 2022. *Summary for Policymakers of the Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Pascual U, Balvanera P, Christie M, Baptiste B, González-Jiménez D, Anderson CB, et al. (Eds). Bonn, Germany: IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6522392>
- Kaplan-Mintz K, Ayalon O, Eshet T, and Nathan O. 2024. The influence of social context and activity on the emotional well-being of forest visitors: A field study. *Journal of Environmental Psychology*, 94, 102234.
- Klein T, Cahanovitch R, Sprintsin M, Herr N, and Schiller G. 2019. A nationwide analysis of tree mortality under climate change: Forest loss and its causes in Israel 1948–2017. *Forest Ecology and Management*, 432, 840–849.
- Levin N, Tessler N, Smith A, and McAlpine C. 2016. The human and physical determinants of wildfires and burnt areas in Israel. *Environmental Management*, 58(3), 549–562.
- Lewis SL, Wheeler CE, Mitchard ET, and Koch A. 2019. Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature*, 568(7750), 25–28.
- Li Q. 2010. Effect of forest bathing trips on human immune function. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15(1), 9–17.
- Lyytimäki J, Petersen LK, Normander B, and Bezák P. 2008. Nature as a nuisance? Ecosystem services and disservices to urban lifestyle. *Environmental Sciences*, 5(3), 161–172.
- Mann C, Loft L, Hernández-Morcillo M, Primmer E, Bussola F, Falco E, et al. 2022. Governance Innovations for forest ecosystem service provision – Insights from an EU-wide survey. *Environmental Science and Policy*, 132, 282–295.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press.
- Park BJ, Tsunetsugu Y, Kasetani T, Kagawa T, and Miyazaki Y. 2010. The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15(1), 18–26.
- Perevolotsky A and Sheffer E. 2009. Forest management in Israel—the ecological alternative. *Israel Journal of Plant Sciences*, 57(1–2), 35–48.
- Plieninger T, Dijks S, Oteros-Rozas E, and Bieling C. 2013. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, 33, 118–129.
- Potschin M and Haines-Young R. 2016. Defining and measuring ecosystem services. In: Potschin M, Haines-Young R, Fish R, and Turner RK (Eds). *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. Routledge. pp. 25–44.
- Ram Y and Smith MK. 2022. An assessment of visited landscapes using a cultural ecosystem services framework. *Tourism Geographies*, 4–5, 523–548.
- Raviv O, Zemah Shamir S, Izhaki I, Sagie H, Negev M, Mazar-Tregerman M, et al. 2020. The socioeconomic value of multiple ecosystem types at a biosphere reserve as a baseline for one holistic conservation plan. *Ecosystem Services*, 41, 101043.
- Roman LA, Conway TM, Eisenman TS, Koeser AK, Ordóñez Barona C, Locke DH, et al. 2021. Beyond 'trees are good': Disservices, management costs, and tradeoffs in urban forestry. *Ambio*, 50(3), 615–630.
- Seidl R, Thom D, Kautz M, Martin-Benito D, Peltoniemi M, Vacchiano G, et al. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6), 395–402.
- אורנשטיין ד. 2022. שירותי התרבות ביערות מחטניים לנוכח שינוי האקלים: להמשיך ליהנות מיער מסוג אחר. **יער**, 22, 104–107.
- כהן-שחם ע וגרוסברד ד. 2021. **שירותי מערכות אקולוגיות בישראל – מבט על**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב. <https://hamaarag.org.il/report/>
- שירותי-מערכות-אקולוגיות-בישראל-מבט-על**
- פרג י, קליאוט נ ויוגב ע. 2019. גורמי מחוללי שינוי. בתוך: לוטן א, גרוסברד ש, ספריאל א ופיטלסון ע. (עורכים). 2019. **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית, דו"ח ממצאי מפתח**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- קפלן-מינץ ק, אילון א, נתן א, עשת צ וקרואני א. 2021. השפעת היערות והשטחים הפתוחים על בריאות הגוף והנפש של המבקרים בהם. **יער**, 20, 18–26.
- רם י. (עורכת). 2018. **שירותי תרבות – הפרק המלא**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב. <https://tinyurl.com/yc67ns2v>
- רם י. 2019. טבע לכול? תחבורה ציבורית ונגישות של אתרי טבע בישראל. **אתרים**, 9, 63–68.
- Baral H, Guariguata MR, and Keenan RJ. 2016. A proposed framework for assessing ecosystem goods and services from planted forests. *Ecosystem Services*, 22, 260–268.
- Bastin JF, Finegold Y, Garcia C, Gellie N, Lowe A, Mollicone D, et al. 2019. Response to Comments on "The global tree restoration potential". *Science*, 366(6463), eaay8108.
- Chazdon R and Brancalion P. 2019. Restoring forests as a means to many ends. *Science*, 365(6448), 24–25.
- Cheng X, Van Damme S, Li L, and Uytendhove P. 2019. Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods. *Ecosystem Services*, 37, 100925.
- Crețan R, Chasciar D, and Dragan A. 2024. Forests and their related ecosystem services: Visitors' perceptions in the urban and peri-urban spaces of Timișoara, Romania. *Forests*, 15(12), 2177.
- Curtis PG, Slay CM, Harris NL, Tyukavina A, and Hansen MC. 2018. Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361(6407), 1108–1111.
- De Groot RS, Alkemade R, Braat L, Hein L, and 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.
- FAO. 2018. *Global Forest Resources Assessment 2020: Terms and Definitions*. <http://www.fao.org/3/i8661en/i8661en.pdf>
- FAO. 2024. *The State of the World's Forests 2024 – Forest-Sector Innovations Towards a More Sustainable Future*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1211en>
- Haines-Young R and Potschin MB. 2018. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. www.cices.eu
- Hernández-Blanco M, Costanza R, Chen H, DeGroot D, Jarvis D, Kubiszewski I, et al. 2022. Ecosystem health, ecosystem services, and the well-being of humans and the rest of nature. *Global Change Biology*, 28(17), 5027–5040.
- Hernández-Morcillo M, Torralba M, Baiges T, Bernasconi A, Bottaro G, Brogaard S, et al. 2022. Scanning the solutions for the sustainable supply of forest ecosystem services in Europe. *Sustainability Science*, 17(5), 2013–2029.
- Himes A. 2025. Cultural ecosystem services in forests. In: McElwee PD, Allen KE, Gould RK, Hsu M, and He J (Eds). *The Routledge Handbook of Cultural Ecosystem Services*. UK: Routledge. pp. 157–169.

Torralba M, Lovrić M, Roux JL, Budniok MA, Mulier AS, Winkel G, et al. 2020. Examining the relevance of cultural ecosystem services in forest management in Europe. *Ecology and Society*, 25(3).

Zhang C, Li J, and Zhou Z. 2022. Ecosystem service cascade: Concept, review, application and prospect. *Ecological Indicators*, 137, 108766.

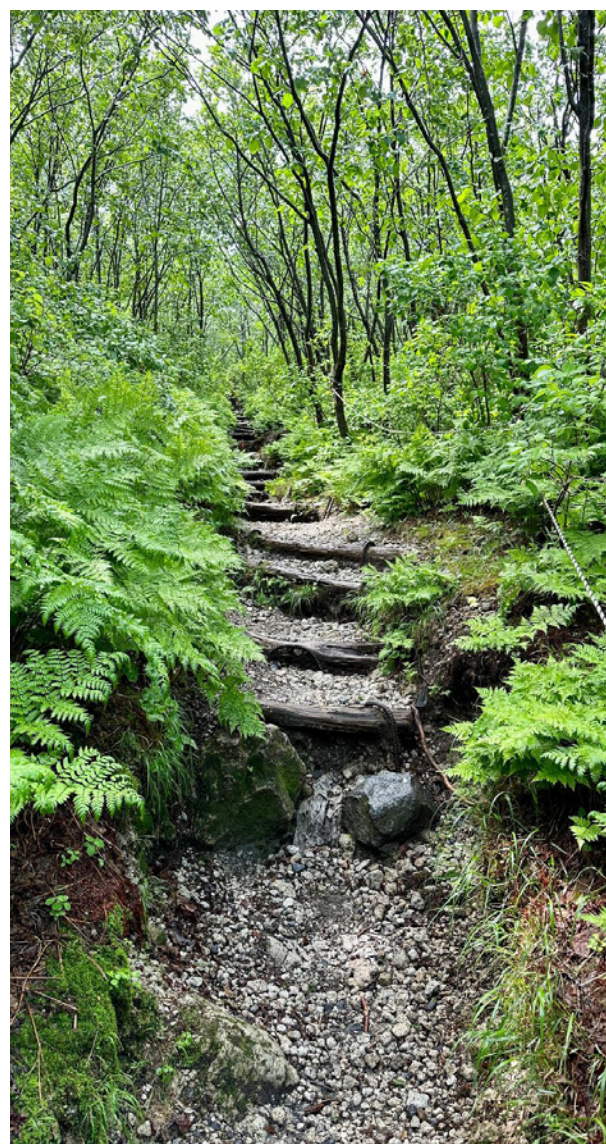
Smith M and Ram Y. 2017. Tourism, landscapes and cultural ecosystem services: A new research tool. *Tourism Recreation Research*, 42(1), 113–119.

Taccaliti F, Marzano R, Bell TL, and Lingua E. 2023. Wildland–urban interface: Definition and physical fire risk mitigation measures, a systematic review. *Fire*, 6(9), 343.

Tikotzki I, Bar-Massada A, and Levin N. 2023. A geographically flexible approach for mapping the Wildland-Urban Interface integrating fire activity data. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1231490.



טיול סוסים בפארק הלאומי איגואיסו, ארגנטינה
צילום: רמי עמית



שביל הליכה ביער, הוקאידו, יפן
צילום: רמי עמית

יער, מים ואש – פיתוח מודל להערכת תרומתו של היער הרב-תכליתי לשירות ויסות הנגר ולהערכת השפעתן של שרפות יער עליו

אלון לוטן^{*1} | יואב פלד² | לאה ויטנברג²

- 1 מרכז קדס לחקר גגות ירוקים, אוניברסיטת חיפה
 - 2 בית הספר למדעי הסביבה, אוניברסיטת חיפה
- * alonlotan19@gmail.com

תקציר

לאחר השרפה. תוצאות המחקר מראות שהמודל שפותח מתאר בצורה טובה את פוטנציאל הנגר באזור המחקר, ומצביעות על ירידה מובהקת ביכולת היער לווסת נגר לאחר השרפה. בעקבות השרפה נמצאו עלייה בערכי CN, ירידה בסף המשקעים הנדרש להיווצרות נגר, והופעת נגר עילי בתת-אגן קטן (4.3 קמ"ר) שלא נצפו בו אירועי נגר בתנאי טרום-שרפה. הממצאים מדגישים את תרומתם של יערות צפופים ורב-שכבתיים למיתון הנגר ואת רגישות התגובה ההידרולוגית להפרעות מסוג שרפה. שילוב כלים מבוססי חישה מרחוק ומידול הידרולוגי מאפשר הערכה מרחבית וכמותית של שינויים בשירות ויסות שהיער מספק, ומהווה בסיס תומך לקבלת החלטות בניהול יער בכלל ובניהול יער רב-תכליתי בפרט באופן בר-קיימא ובמסגרת היערכות לשינוי האקלים.

יערות ים תיכוניים מספקים מגוון רחב של שירותי מערכת אקולוגית, ובהם ויסות נגר עילי, הפחתת הצפות וצמצום בסחיפת הקרקע. השירותים האלה תלויים במידה רבה במבנה הצומח, ברציפות הכיסוי וביחסי הגומלין בין הקרקע והצומח. לכן, לאופן ניהול היער, בשגרה ולאחר הפרעות, יש השפעה רבה על אספקתם של השירותים השונים. שרפות יער מהוות הפרעה משמעותית למערכות האקולוגיות של יערות, ועלולות לפגוע ביכולתו של היער לספק שירותי ויסות הידרולוגיים, בייחוד באזורים ים תיכוניים המועדים לאירועי גשם קצרים ובעוצמות גבוהות. מטרתו של מחקר זה הייתה לפתח מודל מרחבי להערכת התרומה לשירות ויסות הנגר שנובעת מהשטחים שבניהול קק"ל ביערות הרי ירושלים בכלל, ומהיער הרב-תכליתי בהם בפרט, וכן לבחון את השפעת שרפת היער שהתרחשה באזור באוגוסט 2021 על שירות זה. בשלב הראשון נערך מיפוי של תכסית הקרקע ותצורות הצומח ברזולוציה גבוהה באמצעות שילוב של כלי חישה מרחוק ולמידת מכונה. תוצרי מיפוי זה היוו בסיס להערכת פוטנציאל הנגר באמצעות שיטת CN בתוך המודל ההידרולוגי HEC-HMS. מדידות ספיקה בתחנה ההידרומטרית שבמורד אגן נחל שורק שימשו לכיול ולאימות של המודל. חומרת השרפה מופתה באמצעות מדד של חישה מרחוק (dNBR) ושולבה בהתאמת ערכי ה-CN

מילות מפתח

מודל הידרולוגי, שירותי מערכת אקולוגית, HEC-HMS, Curve Number

מבוא – שירותי מערכת אקולוגית ושירותי יסות ביערות ים תיכוניים

המושג 'שירותי מערכת אקולוגית' מתייחס למכלול סוגי התועלת הישירה והעקיפה שהחברה האנושית מפיקה מתפקודן של מערכות אקולוגיות, טבעיות וכאלה המנוהלות בידי אדם. מאז שנטבע והוגדר במסגרת הערכת המילניום (Millennium Ecosystem Assessment), נעשה מושג זה לכלי מרכזי בהבנת הקשר בין תהליכים אקולוגיים, רווחת האדם וקבלת החלטות תכנוניות וניהוליות (MEA, 2005). גם בישראל נערכה הערכה מקיפה של התרומה של המערכות האקולוגיות השונות לקיומם ולרווחתם של תושבי ישראל (לוטן ואח', 2019). שירותי המערכת האקולוגית מקובצים לרוב לשלוש קטגוריות עיקריות: שירותי אספקה – מוצרים מוחשיים וישירים שהאדם מפיק מהטבע; שירותי יסות – תהליכים טבעיים שמווסתים תנאים סביבתיים; שירותי תרבות – ערכים לא חומריים דוגמת נוף, פנאי וחינוך. בבסיס שלוש הקטגוריות הללו נמצאים תהליכים אקולוגיים תומכים (שנקראים לעיתים 'שירותי תמיכה'). התהליכים הבסיסיים האלה מאפשרים את קיומה של המערכת האקולוגית, ולכן גם את אספקת כל שאר השירותים. שירותי הוויסות יהיו מוחשיים כחות בטווח הזמן הקצר, אך יש להם תפקיד מרכזי בשמירה על יציבות אקולוגית, בצמצום סיכונים סביבתיים ובהבטחת רווחה כלכלית וחברתית בטווח הבינוני והארוך (Díaz et al., 2018).

יערות מספקים מכלול רחב ומורכב של שירותי מערכת אקולוגית התורמים באופן ישיר ועקיף לרווחת האדם ולתפקוד מערכות סביבתיות בקני מידה מקומיים, אזוריים ועולמיים (Anderegg et al., 2020). הם מהווים מקור לשירותי אספקה, כגון עץ, ביומסה, מים ומשאבים ביולוגיים, ובמקביל מספקים שירותי יסות מרכזיים, הכוללים קיבוע ואגירת פחמן, ויסות אקלים ומיקרו-אקלים, ויסות מחזור המים באמצעות הפחתת נגר עילי, הגברת חלחול והשהיית זרימות שיא, שיפור איכות המים באמצעות סינון משקעים ומזהמים ומניעת סחיפת קרקע וייצוב מדרונות באמצעות כיסוי צמחי ומערכות שורשים מפותחות (Aznar-Sánchez et al., 2018). נוסף על כך, יערות תורמים לוויסות הפרעות טבעיות, ובהן שרפות, סערות רוח והתפרצויות מזיקים ומחלות. כמו כן, מבנה היער, הרכב המינים בו וממדי המגוון הביולוגי משפיעים על עמידות המערכת ועל יכולתה לשמור על תפקוד לאורך זמן (Pausas and Keeley, 2019). לצד השירותים האלה, יערות מספקים שירותי תרבות חיוניים, ובהם ערכי נוף, פנאי, חינוך, זהות, השראה אומנותית ורוחנית ורווחה נפשית, שתורמתם החברתית והכלכלית הולכת ומתחדדת, בייחוד באזורים המיושבים בצפיפות (Velasco-Muñoz et al., 2022). בבסיס כלל השירותים

הללו מצויים התהליכים האקולוגיים התומכים, כגון ייצור ראשוני, מחזורי נוטריינטים, יצירה ופוריות של הקרקע, וכן המגוון הביולוגי (רוטנברג ויקיר, 2018), המאפשרים את ההפקה של כלל שירותי האספקה, הוויסות והתרבות. למכלול שירותי המערכת, ובעיקר לשירותי הוויסות, תרומה מצטברת ליציבות אקולוגית ולחוסן כלכלי וחברתי, ומכאן חשיבותם בניהול ובשיקום של יערות בעידן שמתרחשים בו שינוי האקלים, הפרעות גוברות ולחצי פיתוח גדולים.

גם בישראל נמצא שיערות וחורשים מספקים מגוון רחב של שירותי מערכת אקולוגית, ובכלל זה שירותי אספקה, כמו ביומסה מעוצה ומרעית לצאן ובקר ולדבורי דבש; שירותי יסות, כמו ויסות אקלים מקומי ועולמי (לכידת פחמן), ויסות איכות האוויר, האבקה וויסות סחיפת קרקע, נגר והצפות; שירותי תרבות, כמו פנאי ונופש, אסתטיקה ונוף, מסורת, זהות ושייכות. לצד זאת, נמצא שגורמים מחוללי שינוי ישירים משפיעים לרעה על מערכות היער והחורש בישראל, בעיקר שינוי בשימושי הקרקע, זיהום, ניצול יתר של משאבים ושרפות, שבהשפעתם שטחן של המערכות האקולוגיות של היערות והחורשים קטן, ותפקודן נפגע, מה שגורם לירידה באספקת מרבית שירותי המערכת האקולוגית (לוטן ואח', 2019).

ויסות נגר והצפות

מבין שירותי הוויסות, שירות ויסות הנגר העילי נחשב לאחד המרכזיים, אך גם לאחד הקשים לכימות ולהערכה. שירות זה מתבטא בהפחתת נכח הנגר, בהאטת מהירות הזרימה, בהקטנת ספיקות שיא ובהארכת זמן התגובה ההידרולוגית של האגן לאירועי גשם (Hua et al., 2022). תפקוד זה מכחית סיכונים הצפה, מצמצם סחיפת קרקע והסעת סדימנטים, ותורם לשימור איכות המים במורד האגן. ויסות הנגר פועל דרך שילוב מספר מנגנונים: לכידת משקעים (interception) בחופת העצים, תהליכי אידוי-דיות, שיפור תכונות הקרקע (חדירות, מבנה, תכולת חומר אורגני), והגנה פיזית על פני הקרקע באמצעות נשר וצומח תת-יער (Keles, 2019). המנגנונים האלה מושפעים במידה רבה מתצורת הצומח, מצפיפותו ומהמבנה הרב-שכבתי של היער. לפיכך, לא כל יער מספק את שירות ויסות הנגר באותה מידה, וקיימת שונות גבוהה בין יער צפוף ורב-שכבתי לבין יער פתוח או מערכת עשבונית. למשל, במחקר שנערך בצפון מקסיקו (ממוצע משקעים רב-שנתי 947 מ"מ) נמצאו הבדלים בשיעורי הלכידה: 19.2% ביערות אורנים, 13.6% ביערות אלונים ו-23% ביערות מעורבים (Silva and Rodríguez, 2001). מחקר רוחב, שבחן לאורך 30 שנה 29 מינים שונים ב-63 אתרי מחקר במדינות אירופיות באגן הים התיכון (צרפת, יוון, איטליה, פורטוגל וספרד) עבור כמות משקעים שנתיים של 200–1,600 מ"מ, הראה כי בממוצע

על פי תורת ניהול היער החדשה של קק"ל (אסם ואח', 2014) מרבית שטחי היערות בישראל נכללים בקטגוריה של "יער רב-תכליתי", שייעודו העיקריים הם לשמור על רצף השטחים הפתוחים, להביא לידי ביטוי את המגוון הנופי הישראלי ולספק מגוון שירותי מערכת אקולוגית. השטחים האלה מנהלים באופן אקסטנסיבי, מתוך הישענות על תהליכים של התחדשות טבעית, סוקצסיה ואדפטציה (אסם ואח', 2014), ולכן מאופיינים בדרך כלל במגוון של צומח מעוצה ועשבוני, כולל עצי מחט ממקור נטוע ועצי חורש ים תיכוני מקומיים. שטחי היער הרב-תכליתי מכוונים לשמר תפקוד אקולוגי גבוה ולתת מענה לצרכים אקולוגיים, נופיים, חברתיים וכלכליים תוך הסתמכות על ממשק מינימלי (פורת ואח', 2017; אוסטרובסקי ואח', 2024). עם זאת, הגדרה זו אינה מלווה תמיד בכלים כמותיים המאפשרים להעריך כיצד החלטות ממשק שונות, בהתנהלות שגרתית או לאחר הפרעות, משפיעות בפועל על אספקת שירותי הוויסות, ובפרט על ויסות הנגר. פער זה מחדד את הצורך בגישות מחקריות המשלבות מידע מרחבי אמפירי ומידול תהליכים כבסיס לפיתוח ממשק יער מושכל ומותאם למאפייני המערכת האקולוגית ולשירותים העיקריים שהיא מספקת. על רקע זה **מטרת המחקר** היא לפתח מערכת מרחבית-כמותית להערכת תרומת היערות הרב-תכליתיים שבניהול קק"ל לשירות ויסות נגר עילי. מטרה זו הושגה באמצעות פיתוח מודל למיפוי מדויק ועדכני של תצורות הצומח העיקריות ביער ושילובו בפיתוח של מודל הידרולוגי אגני כדי להעריך את התרומה של השטחים שבניהול קק"ל להתפתחות ולמיתון של זרימות מים באגן היקוות בעקבות ירידת משקעים. חשיבות השירות וחשיבות השימוש במודל מודגמות דרך הערכה של השינוי בנגר העילי בעקבות שרפת יער שגורמת להסרה חלקית או מלאה של כיסוי הצומח. שני החלקים, המודל למיפוי הצומח והמודל ההידרולוגי, יאפשרו הערכה מושכלת של פעולות הממשק המינימלי המוצעות בתוכניות האב ושל תרומתן להפכת מרב שירותי המערכת האקולוגית בכלל וויסות נגר עילי בפרט.

אזור המחקר ושיטות עבודה

המחקר נערך באזור היערות שבהרי ירושלים (יער הקדושים, יער הסטף ויער צרעה ואשתאול), במעלה אגן נחל שורק, תוך התמקדות בשטחים שבניהול קק"ל. אזור זה מאופיין באקלים ים תיכוני ובטופוגרפיה הררית, שכוללת יותר בחלקו המזרחי (ממזרח לבית שמש) ומתונה יותר בחלקו המערבי, ויש בו שונות גבוהה בכיסוי הצומח. באוגוסט 2021 התרחשה באזור שרפה נרחבת בשטח 11,000 דונם (איור 1), ובמחקר השוויוני בין התנאים בשטח לפני השרפה ולאחריה.

79% מהמשקעים חודרים דרך החופה (throughfall) עם ערכים גבוהים במיוחד באלונים (85–88%) ונמוכים יותר באורנים (עד 70%) (Llorens and Domingo, 2007). שיעורי האידוי-דיות מאגני היקוות מיוערים נמצאו גבוהים משמעותית בהשוואה לאגנים שהקרקע בהם חשופה או מכוסה בצמחייה עשבונית או שיחית, ועשויים לעמוד על 90% מכמות המשקעים השנתית (Huxman et al., 2005). בישראל תיעדו שילר ואח' (2003) ברמת הנדיב שיעור אידוי-דיות שנתי של 416 מ"מ באלון מצוי (*Quercus calliprinos*), ובמחקר נוסף בגליל נמצא כי שיעורי הדיות של אלוני התבור (*Q. ithaburensis*) ביער נעים בין 183.7 ל-239 מ"מ, שהם כ-30–55% מכמות המשקעים השנתית (Schiller et al., 2010).

בעקבות מכלול התהליכים הללו ההידרוגרף (גרף המתאר את שינוי הספיקה בזמן בנקודת מוצא מסוימת) של אגן היקוות מיוער צפוי להתאפיין בספיקות שיא נמוכות, בנפח נגר קטן ובזרימות ממושכות יותר בהשוואה לאגן שאינו מיוער; הממצאים האלה אוששו גם במחקר שנערך ביער ים תיכוני בספרד. במחקר זה נמצא כי לעוצמות הגשם יש השפעה מוגבלת יחסית על גודל ספיקות השיא, וכי עומק מפלס מי התהום היה הגורם המסביר המרכזי ביחסי גשם–נגר. תוצאות המחקר חיזקו את ההנחה כי יערות מפחיתים שיטפונות וסחיפת קרקע, בייחוד במדרונות תלולים (Serrano-Muela et al., 2008).

להפרעות בכלל ולשרפות יער בפרט יש השפעה מורכבת על התגובה ההידרולוגית ועל רכיבי מחזור המים באגני היקוות מיוערים; שרפות יער מובילות לעלייה חדה בכמות המים המגיעה ישירות לקרקע, ומכאן להגברה של הנגר העילי ושל קצבי סחיפת הקרקע (Wittenberg, 2012). כמויות הסחף שנמדדו לאחר שרפות במערכות ים תיכוניות עלולות להגיע לכ-1.2 טונות לקמ"ר לכל מ"מ גשם ולעלות על מאות טונות לקמ"ר, ערכים החורגים מהגבול העליון המקובל של 'סחף קרקע נסבל' (קצב אובדן מרבי שאינו עולה על קצב היווצרותה הטבעי של הקרקע, ואינו פוגע ביצרנות לאורך זמן), המוערך ב-100 עד 140 טונות לקמ"ר לשנה (Verheijen et al., 2009); סחף בהיקף גדול יותר נחשב לבלתי הפיך בטווחי זמן של עשרות שנים, בהתחשב בקצב הטבעי האיטי של התפתחות קרקעות (Morgan, 1992). סחיפת קרקע לאחר שרפה מלווה באובדן נוטריינטים ומינרלים, בפגיעה במרקם ובמבנה של הקרקע, ובפרט בהרס שכבת הקרקע המינרלית העליונה (אופק A). אי לכך, ישנן לה השלכות מרחיקות לכת על תהליכי שיקום הצומח והמגוון הביולוגי, על יציבות מדרונות ועל תפקוד מערכות אקולוגיות באגנים שרוכים (Wittenberg and Malkinson, 2014).



איור 1

השרפה בהרי יהודה, אוגוסט 2021
צילום: נעמה טסלר

חודשים לכל תקופה) כדי ללכוד הבדלים פנולוגיים בין כיסויי קרקע (למשל עשבוניים חד-שנתיים לעומת חורש או יער ירוק-עד). דיוק הסיווג הוערך באמצעות נקודות תיקוף ייעודיות, והתקבל דיוק כולל של 96.3%. לאחר הסיווג הלועזי נוספו שכבות מרחביות של חקלאות, שטחים בנויים או סלולים, דרכים ושבילים, מקווי מים ומחצבות ממאגרי מידע לאומיים ו-OpenStreetMap, ובוצע תת-סיווג ליחידות יער על סמך נתוני קק"ל עבור פיקסלים שסווגו ככיסוי עצים. מיפוי זה היווה בסיס למידול ההידרולוגי ולהערכת שירות ויסות הנגר (ראו להלן).

הערכת שירות ויסות הנגר

הערכת שירות ויסות הנגר בוצעה באמצעות מודל ההידרולוגי אגני HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) שפיתח חיל ההנדסה האמריקאי (USACE, 2012). המודל מדמה את המרת הגשם לנגר באמצעות שקלול תהליכים כגון הפסדי חידור (חלק מהמים שחוזרים לקרקע ואינם תורמים להיווצרות נגר) וזרימה עילית (מים הזורמים על פני הקרקע כאשר קצב הגשם עולה על קצב החידור או כשהקרקע רוויה), ועל-ידי יצירה של הידרוגרף. המודל מאפשר להפיק מדדים הידרולוגיים ברמת תתי-האגנים – נפח נגר, ספיקת שיא, זמן השהיה (lag time) ומשך הזרימה, ולהריץ

מיפוי כיסוי ושימושי הקרקע

מטרת חלק זה הייתה ליצור מפת כיסוי ושימושי קרקע (LULC, Land Use Land Cover) עדכנית וברזולוציה גבוהה, ובתוך כך גם לפתח מודל פשוט למיפוי צומח, הנשען על ערוצי לוויין חינוניים, כזה שניתן יהיה לחזור עליו בעתיד. מאפייני כיסוי הקרקע בשטחים הטבעיים והנטועים שבאזור המחקר זוהו באמצעות מודל סיווג מבוסס למידת-מכונה (Random Forest) שהורץ ב-Google Earth Engine, ושאוּמַן ותוקף על גבי תצלומי אורתופוטו ברזולוציה גבוהה (יערות הקדושים ואשתאול מתאריך 31.5.2019, רזולוציה של 50 ס"מ). כ-150 נקודות אימון ותיקוף סומנו במיקומים שניתן היה לקבוע לגביהם את כיסוי הקרקע בוודאות גבוהה מתוך האורתופוטו, וסיווגי שטח שימשו לאימות סיווגים בלתי-ודאיים או להסרתם מתהליך האימון. הסיווג התמקד בתצורות הצומח הים תיכוני העיקריות הרלוונטיות לתפקוד ההידרולוגי ולמיפוי שירותי המערכת האקולוגית, וכלל חמש קטגוריות: צמחייה עשבונית (כולל קרקע חשופה או טרשים), שיחייה, יער או חורש פתוח עם תת-יער עשבוני, יער או חורש פתוח עם תת-יער שיחני, ויער או חורש צפוף (כיסוי עצים $\leq 50\%$). משתני הקלט כללו קומבינציה של 11 ערוצים ומדדים מלוויין Sentinel-2, שחושבו כממוצע עונתי לשתי תקופות (אביב וסתיו 2019, ממוצע של שלושה

ונתוני המשקעים בהם הוזנו למודל ברזולוציה של עשר דקות מחמש תחנות מטאורולוגיות. לכל תת-אגן הוזנו נתוני התחנה הסמוכה לו ביותר. כיול המודל והערכת ביצועיו נעשו באמצעות השוואת הנפח הכולל, עיתוי ספיקת השיא וצורת ההידרוגרף בתוצאות המחושבות של המודל ובנתונים שנמדדו בפועל.

הערכת השפעת שרפת יער על שירות ויסות הנגר

השפעת שרפת היער על תפוקת הנגר העילי הוערכה באמצעות השוואה בין תוצרי המודל ההידרולוגי במצבי טרום-שרפה ולאחר שרפה בתת-אגן שרובו נמצא בתוך האזור שנשרף באוגוסט 2021. מיפוי חומרת השרפה התבסס על מדד פרופורציה השרפה המנורמלת, NBR (Normalized Burn Ratio), המחושב מערוצי תת-אדום קרוב, NIR (Near Infrared), ותת-אדום קצר-גל, SWIR (Shortwave Infrared), של הלוויין Sentinel-2. חומרת השרפה הוגדרה על פי ההפרש בין ערכי NBR לפני השרפה ואחריה (dNBR). חומרת השרפה נקבעה לפי ערכי dNBR בטווחים שונים: נמוכה (100–269), בינונית (270–659) וגבוהה (660–1,300) (Key and Benson, 2006). בהתאם לחומרת השרפה עודכנו ערכי ה-CN, ובהיעדר נתוני שדה ישירים, יושמה גישה מקובלת בספרות המקצועית, שבה ערכי CN של כל סוג כיסוי קרקע (למעט מקווי מים) קיבלו תוספת בהתאם לחומרת השרפה: 5 יחידות לשרפה בחומרה נמוכה, 10 לבינונית ו-15 לגבוהה (Havel et al., 2019; Coschignano et al., 2018). על בסיס עדכון זה הופקה מפת ערכי CN לאחר השרפה, ששימשה קלט להדמיות הנגר במודל ההידרולוגי.

הדמיות הנגר בוצעו עבור אותם אירועי גשם ותוך שימוש באותם פרמטרים שיושמו בתרחישי טרום-שרפה, במטרה לבדוד את השפעת השינוי בכיסוי הצומח והקרקע. תוצרי המודל כללו חישוב והשוואה של נפח הנגר, ספיקות השיא, זמן ההשהיה ומשך הזרימה בין מצבי טרום-שרפה ולאחר שרפה ברמת תת-האגן וברמת האגן כולו.

תוצאות

מפת כיסוי קרקע ושימושי קרקע

בעזרת המודל למיפוי צומח המתבסס על ערוצי לוויין, שפותח במסגרת מחקר זה, ובשילוב עם מיפוי יחידות הממשק של קק"ל ומידע על שטחים חקלאיים, בנויים, סלולים ומופרים ממקורות לאומיים, הופקה מפת כיסוי קרקע ושימושי קרקע לאזור המחקר, הכוללת 11 קטגוריות של LULC (טבלה 1). באגן המחקר נמצאה שונות מרחבית גבוהה בהרכב כיסוי הקרקע. בתוך השטחים המנוהלים על

תרחישים שונים של שינויים בכיסוי ושימושי הקרקע עם דרישות נתונים מתונות יחסית.

חישוב הנגר במודל בוצע בשיטת SCS (Soil Conservation Service), שבמסגרתה נאמדו הפסדי הידור באמצעות שיטת ה-SCS Curve Number, והפקת ההידרוגרפים התבססה על שיטת SCS Unit Hydrograph. הפרמטר המרכזי במודל הוא מקדם הנגר CN (Curve Number), מדד חסר יחידות שערך נע בין 30 ל-100, שמשמש להערכת פוטנציאל הנגר משטח נתון. ערכו נקבע כפונקציה של שימוש הקרקע וכיסוי הקרקע, תנאי הלחות המוקדמים (Antecedent Moisture Condition, AMC) וסיווג הקרקע לקבוצה הידרולוגית (Hydrologic Soil Groups, HSG). סיווג הקרקעות השונות באזור המחקר (על פי שכבת הקרקעות של משרד החקלאות, 1970) לארבע קבוצות הידרולוגיות נעשה לפי כושר הידור שלהן: מקבוצה A, המאופיינת בחדירות גבוהה ובפוטנציאל נגר נמוך (כגון חול), ועד לקבוצה D, המאופיינת בחדירות נמוכה ובפוטנציאל נגר גבוה (כגון חרסיות כבדות). ככלל, ערכי CN נמוכים מעידים על איבוד מים גבוה (חידור ואידוי-דיות) ועל פוטנציאל נגר נמוך, בעוד ערכים גבוהים מייצגים שטחים בעלי פוטנציאל נגר גבוה.

במחקר זה ערכי ה-CN, ששוויו לשילובים של סוג הקרקע, שימושי הקרקע וכיסוי הקרקע ומצב הלחות הצפוי לפני אירוע הגשם, התבססו על הספרות המקצועית (Hong and Adler, 2008; USDA, 2009), תוך ביצוע התאמות ייעודיות לאופי הצומח הים תיכוני בשטח המחקר (טבלה 1). לצורך דיוק הפרמטרים, נערך ניתוח של אחוז כיסוי העצים, השיחים והעשבונים בתצורות החורש והיער השונות (צפוף ופיתוח), וחושבו ערכים ממוצעים ששימשו לקביעת ערכי ה-CN הסופיים.

גבולות האגן הופקו ממודל גבהים דיגיטלי (Digital Elevation Model, DEM), ששימש גם לחישוב פרמטרים מורפומטריים, ובהם שיפוע ממוצע ואורך זרימה. אגן המחקר חולק ל-180 תתי-אגנים בעזרת מודל הגבהים, תוך ניסיון לשמור על הומוגניות יחסית בשימושי הקרקע ובכיסוי הקרקע בתוך כל תת-אגן. זמן ההשהיה חושב על מאפייני האגנים והטופוגרפיה, ושימש לקביעת צורת ההידרוגרף.

כיול המודל נעשה בסדרה של הרצות והתבסס על נתוני ספיקה מהתחנה ההידרומטרית שורק-יסודות שאליה מתנקז האגן הנכלל באזור המחקר, ועל חישוב או תיקון של מספר פרמטרים הידרולוגיים. נבחרו חמישה אירועי גשם בין השנים 2018–2020 שנמדדה בהם זרימה משמעותית,

Curve Number				מרכיבי תצורות הצומח (וחלקם היחסי (אחוזים)				אחוז משטח היער	כיסוי קרקע ושימושי קרקע
קרקע יבשה (AMC I)		קרקע לחה (AMC II)							
HSG D	HSG C	HSG D	HSG C	עצי יער או חורש	שיחים	עשבונים	קרקע חשופה		
84.3	79.4	71.1				90	10	0.4	צמחייה עשבונית
80.7	75.8	66.2	59.8		90		10	4.2	שיחייה
81.9	76.6	67.8	60.9	30		60	10	12.6	יער או חורש פתוח עם צמחייה עשבונית
79.9	74.6	65.1	58.3	30	60		10	27.6	יער או חורש פתוח עם שיחייה
78.6	72.9	63.4	56.2	70	30			48.9	יער או חורש צפוף
95	90	86.5	79.1					1	שטח בנוי או סלול
100	100	100	100					-	מים
89	87	77.7	74.8					-	מחצבה
89	87	77.7	74.8					2.7	שביל לא סלול
89	85	77.7	72					0.2	חקלאות גידולי שדה
82	76	67.9	60.1					2.3	חקלאות מטעים

טבלה 1

כיסוי קרקע ושימושי קרקע, אחוזי הכיסוי שלהם ביערות הרי ירושלים וערכי CN שלהם לפי פירוט המרכיבים של תצורות הצומח באזור המחקר

נתוני אחוז הכיסוי מתייחסים למצב בתוך שטחי היערות המנוהלים בידי קק"ל; באגן כולו אחוזי הכיסוי אחרים. HSG הוא סיווג הקרקע לקבוצה הידרולוגית על סקלה A-D, שבין חדירות גבוהה ופוטנציאל נגר נמוך (A) לחדירות נמוכה ופוטנציאל נגר גבוה (D).

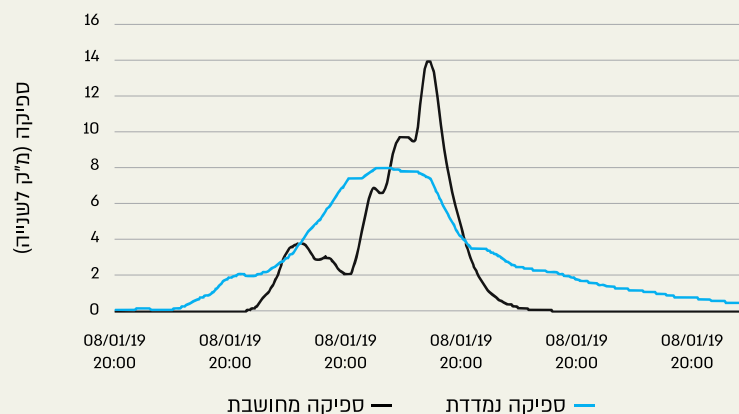
ערכי ה-CN משקפים את ההבדלים בין תצורות הצומח ואת השפעת סוג הקרקע ותנאי הלחות הקודמים. בניתוח של אחוז הכיסוי החלקי של תצורות הצומח השונות בתוך שטחי יער או חורש נמצא שביער או בחורש צפופים חופות העצים מכסות בממוצע כ-70% מהשטח, ואילו ביער או בחורש פתוחים הן מכסות בממוצע כ-30% מהשטח. השלמת הכיסוי ל-100% בכל אחת מהתצורות האלה מתקבלת משילובים שונים של שיחייה, עשבונים וקרקע חשופה, ובהתאם לכך משויכים ערכי CN משוקללים שונים לכל קטגוריה (טבלה 1).

ניכר שבתצורות שאינן מעוצות (צמחייה עשבונית) מתקבלים ערכי CN גבוהים יחסית, המעידים על פוטנציאל מוגבר ליצירת נגר עילי, בייחוד בתנאי קרקע לחה (AMC II) שערכי ה-CN מגיעים בה ל-79–84. לעומת זאת, תצורות יער או חורש, ובפרט הקטגוריה הצפופה, מאופיינות בערכי CN נמוכים יותר (73–79), המעידים על כושר הפחתת נגר גבוה יותר. נוסף על כך, במהלך כיוול המודל נמצא שבהתבססות על ערכי CN במצב של קרקע יבשה (AMC I) מתקבל מודל טוב יותר, גם כאשר מדובר באירועי גשם באמצע החורף. במבט מרחבי ישנם באגן נחל שורק שטחים נרחבים עם

ידי קק"ל תצורות יער או חורש מכסות כמעט 90% מהשטח, ועיקר הכיסוי הוא של יער או חורש צפוף (48.9%), ואחריו יער או חורש פתוח עם כיסוי שיחני (27.6%) ויער או חורש פתוח עם כיסוי עשבוני (12.6%). תצורות נמוכות יותר, כגון שיחייה (4.2%) וצמחייה עשבונית (0.4%), מהוות חלק קטן יחסית מהשטח, בעוד ששימושי קרקע אנתרופוגניים (שטחים בנויים, דרכים, חקלאות) תופסים בסך הכול אחוזים בודדים בלבד משטחי היערות (טבלה 1).

הערכת שירות ויסות הנגר

מבחינת תהליך כיוול המודל, הידרוגרף היחידה (תגובת הנגר של אגן ניקוז ליחידת גשם אפקטיבי בעוצמה אחידה ובמשך קבוע) חושב במערכת HEC-HMS על בסיס מודל SCS תוך שימוש בפרמטר זמן השהיה כמרכיב מרכזי בעיצוב ההידרוגרף. זמן ההשהיה מוגדר כפרק הזמן שבין מרכז הכובד של הגשם היעיל לבין שיא הספיקה, וחושב כנגזרת של זמן הריכוז לכל תת-אגן בנפרד. החישוב התבסס על מאפיינים מורפומטריים, ובהם האורך ההידראולי והשיפוע, שהופקו ממודל הגבהים הדיגיטלי, וכן על ממוצע משוקלל של ערכי ה-CN בכל תת-אגן.



איור 2

השוואה בין הספיקה המחושבת לספיקה הנמדדת בתחנה ההידרומטרית באירוע גשם בתאריכים 8-10 בינואר 2019

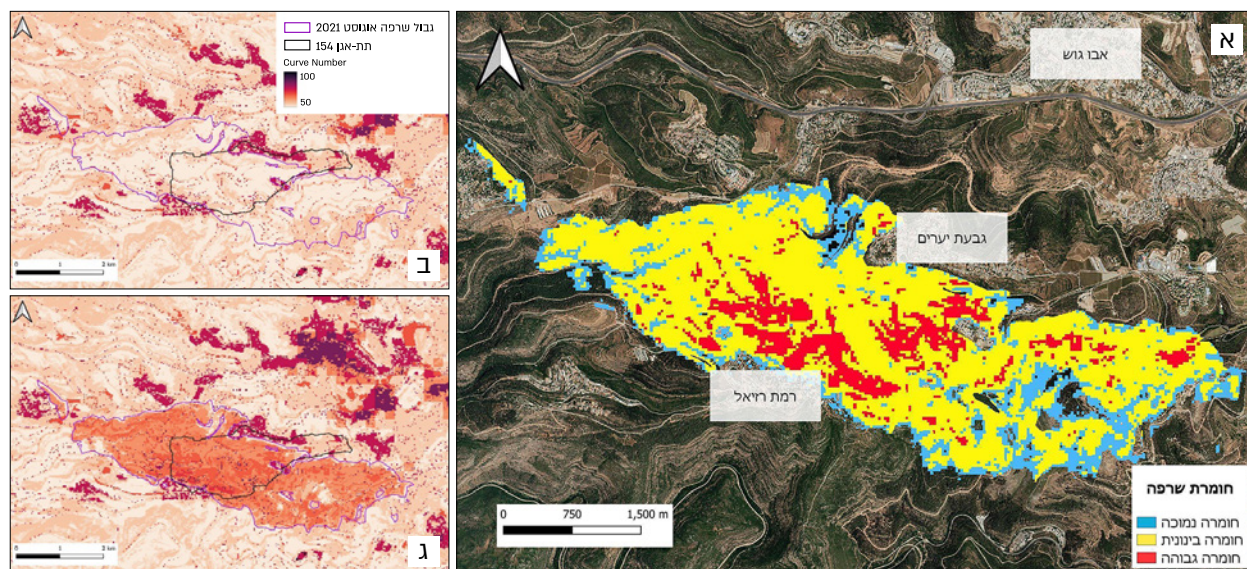
סטייה של 20-30%. נוסף על כך, המודל חזה היטב את עיתוי התפתחות הזרימה והופעת ספיקת השיא, וההידרוגרף שהתקבל מהמודל דומה בקירוב להידרוגרף שנמדד בפועל בתחנות ההידרומטריות (איור 2).

הערכת השפעתה של שרפה על שירות ויסות הנגר

חומרת שרפה מוגדרת על פי מידת הפגיעה בצומח ובקרקע: חומרה נמוכה מתבטאת בפגיעה חלקית בצמחייה ובשימור רוב הכיסוי, חומרה בינונית כוללת פגיעה נרחבת בחופת העצים ובתת-היער, ואילו חומרה גבוהה מאופיינת

ערכי CN גבוהים (כלומר, תורמים נגר), בעיקר במעלה האגן – אזור העיר ירושלים והיישובים הרבים שסביבה – ובמורד – אזור העיר בית שמש והשטחים החקלאיים הרבים שמצפון-מערב לה. לעומת זאת, במרכז האגן, שם נמצאים מרבית שטחי היער, ערכי ה-CN נמוכים יחסית, כלומר, שירות ויסות (מיתון) הנגר בהם גבוה.

בסיכומו של דבר, בהשוואת נפח הזרימה המחושב באמצעות מודל HEC-HMS המכיל לנפח המדוד בתחנה ההידרומטרית בחמשת אירועי הגשם שנבחרו לכיול, נמצאה



איור 3

השרפה בהרי יהודה, אוגוסט 2021

א. מפת חומרת השרפה; ב. ערכי CN לפני השרפה; ג. ערכי CN אחרי השרפה. העלייה המשמעותית בערכי ה-CN לאחר השרפה משקפת ירידה בכוח החידור של הקרקע ופגיעה ביכולת היער לווסת נגר עילי, בייחוד באזורים שנפגעו בחומרת שרפה בינונית וגבוהה. באזורים ב-ו-ג מסומנים גבולות השטח שנשרף (קו סגול) וגבולות תת-האגן שנבחן (קו שחור).

איכותי ונוח ליישום של כיסוי הצומח מאפשר לדעת במאמץ קטן יחסית את מצב המערכת האקולוגית בשטחים נרחבים, לעקוב אחר תהליכי התחדשות צומח (סוקצסיה) טבעיים ובעקבות הפרעות, כמו שרפות, ולקבל החלטות מושכלות בתכנון ובממשק של היער. נוסף על כך, שירותי מערכת אקולוגית רבים תלויים בעיקר בתצורת הצומח ובמצבה, כך שהיא משמשת אינדיקטור עבורם, ולכן מפת צומח מאפשרת מיפוי של מגוון רחב של שירותי מערכת אקולוגית (Lavorel et al., 2017).

מיפוי שירות ויסות נגר

מודל HEC-HMS שהופעל וכויל במסגרת מחקר זה הפיק ברוב המקרים תוצאות טובות בהשוואה לערכים שנמדדו באירועי גשם שונים בתחנה ההידרומטרית, וזאת למרות גודלו של אגן ההיקוות, שעבורו היה נתון מדוד (כ-405 קמ"ר) שהכניס 'רעשים' ומורכבות לתגובה ההידרולוגית. המודל מבוסס על סדרת פרמטרים הידרולוגיים הכוללת משקעים, חדירות קרקע, נגר עילי, אידוי-דיוט פוטנציאלי, אוגר המים בקרקע וזרימת בסיס בנחלים, כך שמדובר במערכת גמישה הניתנת להתאמה לצורכי המשתמש. אף על פי שהכיוול התבסס על חמישה אירועי גשם בלבד (בגלל מיעוט אירועי זרימה שנמדדו בתחנה ההידרומטרית בשנים שמיפוי כיסוי הקרקע ושימושי הקרקע נערך עבורן), התקבל מודל בעל ביצועים טובים. כיוון שאמינות המודל משתפרת ככל שמתווספים נתונים אמפיריים מדויקים לכיוול, רצוי לבחון את המודל שהתקבל גם בשנים הבאות ולשפר את דיוקו בהתאם למדידות זרימה נוספות.

ממצאי המחקר מדגישים את חשיבותו של מבנה יער צפוף ורב-שכבתי, הכולל חופת עצים מפותחת, תת-יער שיחני וכיסוי קרקע רציף, כמנגנון מפתח בוויסות הנגר. תרומה זו נובעת משילוב של לכידת משקעים בחופה שמפחיתה את הכמות ואת העוצמה של המים המגיעים לקרקע, יחד עם שיפור תכונות הקרקע, הגדלת החידור והאוגר והשהיית הזרימה. לעומת זאת, יערות פתוחים ותצורות צומח הכוללות תת-יער עשבוני או קרקע חשופה מאופיינים בפוטנציאל נגר גבוה יותר, גם ללא שינוי בשימושי הקרקע.

שירות ויסות נגר ושרפות יער

יערות ים תיכוניים הם חלק מפסיפס נופי, המשקף יחסי גומלין מורכבים בין תנאים משתנים של אקלים וגאומורפולוגיה, תצורות נוף מגוונות והשפעת אדם ארוכות שנים. היערות מספקים מגוון רחב של שירותי מערכת אקולוגית חיוניים. מבחינת שירותי ויסות, ליערות תפקיד מרכזי בהגנה על הקרקע, בניהול מקורות מים ובשמירה על מיקרו-אקלים (Nocentini et al., 2022). שינוי האקלים,

בשרפה מלאה של הצומח, באובדן כיסוי הקרקע ובפגיעה משמעותית בתכונות הקרקע (Keeley, 2009). לפי מיפוי חומרת השרפה ב-2021, כ-55-60% משטח השרפה נפגעו בחומרה בינונית, כ-25-30% בחומרה גבוהה, וכ-10-15% בחומרה נמוכה. התפלגות זו משקפת פסיפס מרחבי אופייני לשרפות יער ים תיכוניות – אזורים נרחבים של פגיעה משמעותית בכיסוי הצומח לצד מוקדים מצומצמים יותר של פגיעה קיצונית או נמוכה (איור 3א). בעקבות השרפה חלה ירידה בשירות ויסות הנגר, שבאה לידי ביטוי בעלייה משמעותית בערכי ה-CN בתחום האגן השרוף (איור 3ב, 3ג). לפני השרפה ערכי ה-CN היו ברובם נמוכים עד בינוניים, בטווח של כ-55-65, והציגו פיזור הטרוגני עם מוקדים מצומצמים בלבד של ערכים גבוהים בסביבת היישובים גבעת יערים ורמת רזיאל. לאחר השרפה ניכרות האחדה מרחבית ועלייה חדה בערכים: מרבית שטח האגן מציג ערכי CN של כ-70-85, ובאזורים מסוימים אף קרוב ל-90. שינוי זה משקף, ככל הנראה, ירידה בממדי האידוי-דיוט ובכוסר החידור של הקרקע, ובא לידי ביטוי בשינוי בתגובת האגן למשקעים, כלומר גידול פוטנציאלי בנגר העילי לאחר השרפה.

תוצאות החישוב מצביעות על קיצור זמן ההשהיה ועל עלייה בספיקת השיא בתרחיש שלאחר השרפה, בהשוואה למצב טרום-שרפה. ערך ה-CN הממוצע באגנים השרופים עלה מ-59.9 לפני השרפה ל-68.6 לאחר השרפה. עלייה זו הובילה להתפתחות נגר (מחושב) בתת-אגן קטן בשטח של 4.3 קמ"ר, שלא ייצר נגר בתנאי כיסוי הצומח טרום-שרפה. ההידרוגרף שלאחר השרפה מאופיין בעלייה חדה ומהירה יותר לספיקת השיא ובהתפתחות זרימות בתת-אגנים קטנים, כמו זה שנבחן במחקר זה.

דיון

מיפוי כיסוי הצומח

לצד התקדמות רבה במודלים ובכלי חישה מרחוק למיפוי כיסוי צומח, קיים עדיין קושי לא מבוטל במיפוי מדויק הכולל סיווג לתצורות צומח ספציפיות, בייחוד במיפוי מפורט ברזולוציה גבוהה וברמה מקומית (Dadon et al., 2019; Delaney et al., 2025). לכן, לשיטת המיפוי שיושמה במחקר זה, אף על פי ששימשה 'רק' שלב ביניים בדרך למיפוי שירות ויסות הנגר, וכיוון שהראתה דיוק גבוה ביכולתה לחזות את תצורות הצומח אל מול תאי שטח ידועים, יש חשיבות רבה גם בפני עצמה. ראשית, שימוש במודל בשטחים טבעיים ונטועים אחרים באזור הים תיכוני בישראל יאפשר לקבל סיווג מדויק יחסית וברזולוציה גבוהה יחסית בהשוואה למפות סיווג אחרות הקיימות כיום בישראל. שנית, מיפוי

להתאוששות אקולוגית וכשיפור תפקודי המערכת, גישת שירותי המערכת האקולוגית מצביעה על שקלול תמורות (trade-off) מבני ותפקודי בין שירותים שונים שהצמחייה מספקת. כלומר, המנגנונים התורמים לשירות מסוים עלולים לפגוע בשירותים אחרים, וגם להעמיד את המערכת כולה בסיכון (Mori et al., 2017). הצפיפות והמורכבות המבנית של הצמחייה משפרות את שירותי הוויסות ההידרולוגיים באמצעות סדרת מנגנונים פיזיקליים וביולוגיים המפחיתים את כמות המים הזמינה במערכת. נוסף לשיעורי דיות גבוהים, שטח עלווה גדול יוצר מעין שכבת חיץ שלוכדת חלק ניכר מהמשקעים בצמרת העצים (interception), ומפחיתה את עוצמת הפגיעה של טיפות הגשם בקרקע. מעבר להשפעה הממתנת על זרימות עיליות, מערכות שורשים עמוקות מנצלות מים מעומק פרופיל הקרקע ומפחיתות את המילוי החוזר למי התהום, תהליך המוביל לירידה בשפיעת המעיינות ובזרימות הבסיס בערוצי הנחלים (Vicente-Serrano et al., 2021), ולמעשה פוגע בשירות אספקת המים. צפיפות גבוהה של צמחייה, הכוללת מספר קומות יער (שיחים, עצים ומטפסים) מגבירה באופן משמעותי את הסיכון להתפרצות שרפות נרחבות. רציפות ביומסה מאפשרת מעבר אש רציף במרחב (אופקי ואנכי) והתגברות על מכשולים ומחסומים טבעיים (דוגמת ערוצי נחלים או מחשופי סלע). המעבר משרפות קרקע לשרפות צמרות המאופיינות בעוצמה גבוהה (סולם אש), עשוי להאיץ את קצב התפשטות השרפה ולהקשות על מאמצי הכיבוי. מחקרים מלמדים כי הגנה אינטנסיבית על היערות והחורשים דרך דיכוי שרפות עשויה להוביל להצטברות מסה גדולה של חומרי בערה ולפוטנציאל נפיץ של שרפות יער נרחבות (Pausas and Keeley, 2019). למשל, האירוע שמכונה מגה-שרפות בדרום קליפורניה בשנת 2007 (Keeley et al., 2009) מיוחס לשילוב תנאי מזג אוויר קיצוניים, גיל הצמחייה ועומס חומרי בערה ביערות. מבנה הצומח היערי הצפוף פועל, אפוא, כמנגנון דו-ערכי: בטווח הזמן הקצר הצמחייה תורמת לוויסות נגר עילי ולהפחתת סיכונים הידרולוגיים, אך בטווח הזמן הבינוני-ארוך הצטברות הביומסה מגדילה את הפגיעות לאירועי שרפה קיצוניים, בייחוד כאשר מתקיימים תנאי סף אקלימיים של יובש ורוחות.

לצמחייה הצפופה בכיסוי גבוה שתורמת לוויסות הנגר באופן מיטבי יש גם צד שלילי בהקשר האקולוגי. הצטופפות (סגירת) היער והחורש היא תהליך המתרחש באופן טבעי במרבית האזורים הים תיכוניים בישראל, כאשר הרעייה נמנעת או מבוקרת ולא פורצות שרפות. ההצטופפות מגבילה את האפשרות של צמחייה שיחנית ועשבונית נמוכה להתבסס, ומורידה את הכתמיות בתצורות הצומח המאפיינת את החורש הים תיכוני. בסופו של דבר, היא מקטינה את המגוון הביולוגי (Perevolotsky and Sheffer,

לחצי פיתוח, כריתה ושרפות פוגעים במכלול השירותים המסופקים, ולכן נדרשים הבנה וכימות שיטתי של השירותים השונים כבסיס מרכזי לניהול יער בר-קיימא (Boix-Fayos et al., 2020). ממצאי המחקר מחזקים את ההנחה הזו, ומדגישים את תפקידו המרכזי של היער הרב-תכליתי כמספק שירותי ויסות הידרולוגיים, ובפרט את תרומתו למיתון נגר עילי, להאטת זרימות שיא ולהפחתת סיכונים הצפות וסחיפת קרקע. תוצאות המחקר מצביעות על קשר ברור בין מבנה הצומח, צפיפותו והרציפות המרחבית שלו לבין התגובה ההידרולוגית של האגן, וממחישות כיצד שרפות יער פוגעות באופן ישיר ביכולת זו. העלייה המובהקת בערכי ה-CN לאחר השרפה, לצד קיצור זמן ההשהיה והעלייה בספיקה הכללית ובספיקת השיא בפרט, משקפות פגיעה בשירות ויסות הנגר ברמת תת-האגן. ממצא זה מחזק את ההבנה כי חשיבותם וממדיהם של שירותי ויסות, בניגוד לשירותי אספקה, ניכרים כאשר הם נפגעים ולא מסופקים, בדרך כלל לאחר הפרעה משמעותית. בהקשר זה, הופעת נגר בתת-אגן קטן שלא ייצר נגר בתנאי טרום-שרפה, היא אינדיקציה רגישה לפגיעה בשירות וויסות הנגר כאשר ההשפעה האגנית הכוללת עשויה להיות מתונה יותר.

שרפות יער משנות באופן מהותי את מאפייני הצומח והקרקע, ובכך פוגעות ביכולתו של היער לווסת את הנגר (Wittenberg and Inbar, 2009). לשרפות יש השפעה דיפרנציאלית על מיני הצומח ועל התגובה ההידרולוגית של השטחים הפגועים. למשל, מחקרם של Ohana-Levi ואח' (2018) מצביע על ההשפעה המשמעותית של שרפות בחומרה גבוהה ביערות אורנים נטועים בהשוואה לשטחים המאופיינים בצמחייה טבעית מקומית. במחקרם נמצא שהפגיעה בצומח הובילה לשינוי במשטר הנגר ולהגברה של ספיקת השיא ושל נפח הנגר הכולל בשיעור של כ-47%-39. במהלך תקופת ההתחדשות של הצמחייה נצפתה ירידה בתגובת הנגר, בשיעור של כ-9%-7.7. במחקר נוסף שנערך באגן נחל אורן בכרמל בעקבות השרפה בכרמל ב-2010, נמצא כי ספי המשקעים שנדרשו ליצירת נגר עלי פחתו בכ-50% לזרימה ראשונה (120-150 מ"מ בשנים רגילות, 52-65 מ"מ לאחר השרפה) וב-70% לאירוע הזרימה השני; מספר אירועי הזרימה השנתי באגן עלה באופן מובהק מ-4.4 אירועים בשנה לפני השרפה ל-8 אירועים בשנה לאחריה (עלייה של כ-80%). משך הזרימה ארך באופן מובהק עם עלייה בכמות המשקעים, וריכוז הסדימנטים המרחפים לאחר השרפה עלה בשניים עד שלושה סדרי גודל בהשוואה לריכוז הסדימנטים המרחפים בשנים שקדמו לה (Greenbaum et al., 2021).

שירותי מערכת אקולוגית של היער – שקלול תמורות

בעוד שחורש צפוף ומפותח נתפס לעיתים כסמן

(2011), שהוא רכיב חשוב ביציבות המערכת האקולוגית בכלל ואחד מיעדי הממשק של היער הרב-תכליתי בפרט.

שירות ויסות נגר – היבטים ממשקיים

ניהול שטחי יער דורש איזון בין היתרונות של יער צפוף ורב-שכבתי בהיבטים של נגר וסחיפת קרקע, לבין החסרונות שיש ליער כזה מבחינת המגוון הביולוגי, הסיכון לשרפות והפגיעה בשירותי מערכת אקולוגית אחרים. נוסף על כך, חלקות יער שעוברות התפתחות או התאוששות טבעית לאחר שרפה (סוקצסיה) ומגיעות לתצורת המטרה במינימום התערבות, כפי שתורת ניהול היער של קק"ל משנת 2014 מנחה לגבי היער הרב-תכליתי, חוסכות משאבים רבים. עם זאת, כדי להגיע לתצורת היער הרצויה בכלל וכדי לשמור ולשפר את שירות ויסות הנגר בפרט, ניתן לבצע ממשק סלקטיבי-פרטני לכל חלקת יער לפי מאפייניה ומיקומה באגן, הן באופן שוטף הן כתגובה לשרפה. González-Romero et al. (2022) מציניים שהטיפול בשטח יער שנשרף נועד להפחית נגר באופן מקומי ולהקטין את הקישוריות ההידרולוגית-סדימנטולוגית, ומדגישים כי יעילות ההתערבות תלויה במיקום היחידה המטופלת בתוך אגן ההיקוות. הם מבחינים בין האזורים של ראשי הערוצים (headwaters) והגבעות, שחשופים יותר לסחיפת קרקע ולכן ללא התערבות עלולים לעבור התאוששות צומח איטית, לבין המדרונות ואזורי הגאיות וגדות הערוצים שבתחתית האגן, שם בדרך כלל התפתחות הצומח מהירה יותר בגלל הצטברות סחף ולחות גבוהה (González-Romero et al., 2022). כמו כן, שטחי יער צפופי צמחייה או כאלה שעברו טיפול גאו-ביו-מורפולוגי להקטנת נגר וסחיפה (טראסות, סכרונים וכדומה) ומספקים רמה גבוהה של ויסות נגר, תורמים באופן משמעותי להידרולוגיה של האגן כאשר הם משובצים במרחב בין שטחים שנוטים לתרום נגר (כמו חקלאות ואזורים בנויים), יותר מאשר כשהם מכסים שטח גדול ורצוף הממוקם לצד שטחים גדולים תורמי נגר (García-Comendador et al., 2017). לכן, על סמך תוצאות מחקר זה בשילוב עם הספרות מנקודת מבט של נגר וקישוריות הידרולוגית, נכון יותר לאפשר ולתכנן פיזור של שטחים צפופי צומח במדרונות של אגני היקוות גדולים כמו אגן נחל שורק. במדרונות תלולים הסיכון לנגר ולסחיפת קרקע גבוה במיוחד, והצמחייה הצפופה תקל על קליטת מרבית הנגר שמגיע מהמעלה, ותאפשר להקטין זרימות שיטפוניות והצפות במורד. נוסף על כך, בגלל חלקו המשמעותי של הצומח, בעיקר זה המעוצה, באספקת שירות ויסות הנגר, יש חשיבות גדולה לתמיכה בהתאוששות צמחיית היער לאחר שרפה, כך שערכי ה-CN של השטח השרוף יעלו וישונו להיות כפי שהיו לפני השרפה מהר ככל האפשר. אחרי השרפה בכרמל של 1989 נמצא שאפילו הצימוח הראשוני בשנה השנייה

אחרי השרפה שיצר כיסוי חלקי של הקרקע החשופה, הפחית את הנגר בסדר גודל אחד ואת הסחיפה בשני סדרי גודל (Inbar et al., 1998). ההמלצה המקובלת באזורים ים תיכוניים היא לאפשר למערכת להתאושש באופן טבעי ככל האפשר, להימנע מכניסה לשטח עם כלים שעלולים לפגוע במרקם הקרקע ובתהליכי התפתחות הצומח, ואף להשאיר את חלקי העצים המתים, וכל זאת כדי לעודד את הצימוח הטבעי (Wagenbrenner et al., 2021). בסיכומו של דבר, תגובת הנגר לאחר שרפה וההתאוששות ההידרולוגית הן תוצאה של יחסי גומלין מורכבים בין צומח, קרקע ומבנה האגן, ולכן ניהול אפקטיבי חייב להיות מבוסס הקשר מרחבי (catchment-scale) ולא רק מקומי, ומותאם למצב המערכת לפני השרפה ולתנאי האקלים והאגן כולו.

סיכום ומסקנות

שרפות יער גורמות לשינויים מהותיים בתכונות הפיזיקליות, הכימיות והביולוגיות של הקרקע, בכיסוי הצומח ובתנאי פני השטח. השינויים האלה משפיעים באופן ניכר על התגובה ההידרולוגית של מדרונות ואגני ניקוז. ערכי ה-CN משקפים את השינויים האלה באופן יעיל, ומאפשרים הבנה טובה וחיזוי מדויק של תגובת הנגר לאחר שרפה בקני מידה מרחביים שונים. מודל HEC-HMS מדגיש את חשיבות הכיסוי הצמחי, ובפרט צמחייה צפופה ורב-שכבתית, בהפחתת נגר יעיל ובמיתון תהליכי סחיפת קרקע. המודל מעלה כי השינוי ביחסי גשם-נגר היה גבוה יותר בקנה המידה של תת-אגנים, שם נצפתה ירידה משמעותית בערך הסף הנדרש ליצירת נגר עודף (infiltration-excess runoff), מה שמדגיש את הרגישות הגבוהה של תאי שטח קטנים לשינויים בכיסוי הצומח ולפגיעה בתכונות הקרקע בעקבות שרפות. השימוש במודל מאפשר הערכה שיטתית של תרומת אזורי יער שונים להפחתת נגר וסחיפה, וכן זיהוי אזורי סיכון הדורשים ניהול ייעודי. תדירותם של אירועי גשם קצרים ועוצמתיים עולה בגלל שינוי האקלים, ותופעה זו מעלה את הביקוש לשירות מחד גיסא. מאידך גיסא, שטחים פתוחים רבים הופכים לשטחים בנויים בחלקים שונים של אגני היקוות (למשל, בנייה נרחבת באזור ירושלים ובאזור בית שמש באגן נחל שורק), באופן המצמצם את היצע השירות. ההיבטים האלה, יחד עם אירועי שרפה גדולים שתדירותם עולה עם השנים, מדגישים את הצורך לנהל את שטחי היער והחורש במטרה לשפר או לשקם שירותי מערכת אקולוגית.

ממצאי המחקר תומכים בגישה של ניהול יער מכוון שירותי מערכת אקולוגית, ומציעים כי יער רב-תכליתי שמתחזק באופן מינימלי תוך שמירה על מורכבות מבנית ועל רציפות

מחודשת של ממשק היער, להתאמת הצפיפות, ההרכב ומבנה הצומח, ולשילוב שיקולי ויסות נגר, לצד שירותים ושיקולים נוספים, כחלק אינטגרלי מתוכניות ממשק יערניות.

כיסוי, מסוגל להפחית סיכונים הידרולוגיים גם בעידן של שינוי האקלים והתגברות אירועי קיצון. בהקשר זה, שרפות יער אינן רק אירוע הרסני, אלא גם חלון הזדמנויות לבחינה

מקורות

- Havel A, Tasdighi A, and Arabi M. 2018. Assessing the hydrologic response to wildfires in mountainous regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2527–2550.
- Hong Y and Adler RF. 2008. Estimation of global SCS curve numbers using satellite remote sensing and geospatial data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(2), 471–477.
- Hua F, Bruijnzeel LA, Meli P, Martin PA, Zhang J, Nakagawa S, et al. 2022. The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. *Science*, 376(6595), 839–844.
- Huxman TE, Wilcox BP, Breshears DD, Scott RL, Snyder KA, Small EE, et al. 2005. Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology*, 86(2), 308–319.
- Inbar M, Tamir MI, and Wittenberg L. 1998. Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology*, 24(1), 17–33.
- Keeley JE. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116–126.
- Keeley JE, Safford H, Fotheringham CJ, Franklin J, and Moritz M. 2009. The 2007 southern California wildfires: Lessons in complexity. *Journal of Forestry*, 107(6), 287–296.
- Keles S. 2019. An assessment of hydrological functions of forest ecosystems to support sustainable forest management. *Journal of Sustainable Forestry*, 38(4), 305–326.
- Key CH and Benson NC. 2006. LA-1 landscape assessment (LA) sampling and analysis methods. In: Lutes DC, Keane RE, Caratti JF, Key CH, Benson, Nathan C, et al. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. LA-1-55.
- Lavorel S, Bayer A, Bondeau A, Lautenbach S, Ruiz-Frau A, Schulp N, et al. 2017. Pathways to bridge the biophysical realism gap in ecosystem services mapping approaches. *Ecological Indicators*, 74, 241–260.
- Llorens P and Domingo F. 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335(1–2), 37–54.
- Mori AS, Lertzman KP, and Gustafsson L. 2017. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: A research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology*, 54(1), 12–27.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Nocentini S, Travaglini D, and Muys B. 2022. Managing Mediterranean forests for multiple ecosystem services: Research progress and knowledge gaps. *Current Forestry Reports*, 8(2), 229–256.
- Ohana-Levi N, Givati A, Paz-Kagan T, and Karnieli A. 2018. Forest composition effect on wildfire pattern and run-off regime in a Mediterranean watershed. *Ecohydrology*, 11(4), e1936.
- אוסטרובסקי ג, קרואני א, פורת י, אייזנבנד א, סיאקי ג, היבשר נ ואח'. 2024. **היערכות ניהול היער בישראל לשינוי האקלים**. מסמך מדיניות והנחיות מקצועיות. קרן קימת לישראל.
- אסם י, ברנד ד, טאובר י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. **תורת ניהול היער בישראל: מדיניות והנחיות לתכנון ולממשק היער**. ירושלים: קרן קימת לישראל, אגף הייעור.
- לוטן א, גרוסברד ש, ספריאל א ופייטלסון ע (עורכים). 2019. **מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית, דו"ח ממצאי מפתח**. המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- פורת י, צורף ח ואסם י. 2017. תכנית אב ליער ככלי תכנוני לניהול יער מוכון מטרה – יער הקדושים כמודל. **אקולוגיה וסביבה**, 50–56, (2), 8.
- קליין ת, שפרינגר ע, פיקלר ב, אלבז ג, כהן ש ויקיר ד. 2014. יעילות ניצול מים בעצי יער: עדיפות לאורן ירושלים על פני אלון מצוי. **אקולוגיה וסביבה**, 50–56, (2), 8.
- רוטנברג א ויקיר ד. 2018. ייעור, אקלים ועתיד היערות בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 50–56, (2), 8.
- Anderegg WR, Trugman AT, Badgley G, Anderson CM, Bartuska A, Ciais P, et al. 2020. Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*, 368(6497), eaaz7005.
- Aznar-Sánchez JA, Belmonte-Ureña LJ, López-Serrano MJ, and Velasco-Muñoz JF. 2018. Forest ecosystem services: An analysis of worldwide research. *Forests*, 9(8), 453.
- Boix-Fayos C, Boerboom LG, Janssen R, Martínez-Mena M, Almagro M, Pérez-Cutillas P, et al. 2020. Mountain ecosystem services affected by land use changes and hydrological control works in Mediterranean catchments. *Ecosystem Services*, 44, 101136.
- Coschignano G, Nicolaci A, Ferrari E, Cruscomagno F, and Iovino F. 2019. Evaluation of hydrological and erosive effects at the basin scale in relation to the severity of forest fires. *iForest- Biogeosciences and Forestry*, 12(5), 427.
- Delaney B, Tansey K, and Whelan M. 2025. Satellite remote sensing techniques and limitations for identifying bare soil. *Remote Sensing*, 17(4), 630.
- Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson RT, Molnár Z, et al. 2018. Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272.
- García-Comendador J, Fortesa J, Calsamiglia A, Calvo-Cases A, and Estrany J. 2017. Post-fire hydrological response and suspended sediment transport of a terraced Mediterranean catchment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(14), 2254–2265.
- González-Romero J, López-Vicente M, Gómez-Sánchez E, Peña-Molina E, Galletero P, Plaza-Álvarez P, et al. 2022. Post-fire management effects on hillslope-stream sediment connectivity in a Mediterranean forest ecosystem. *Journal of Environmental Management*, 316, 115212.
- Greenbaum N, Wittenberg L, Malkinson D, and Inbar M. 2021. Hydrological and sedimentological changes following the 2010-forest fire in the Nahal Oren Basin, Mt. Carmel Israel—a comparison to pre-fire natural rates. *Catena*, 196, 104891.

- Verheijen FG, Jones RJ, Rickson RJ, and Smith CJ. 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1–4), 23–38.
- Vicente-Serrano SM, Domínguez-Castro F, Murphy C, Peña-Angulo D, Tomas-Burguera M, Noguera I, et al. 2021. Increased vegetation in mountainous headwaters amplifies water stress during dry periods. *Geophysical Research Letters*, 48(18), e2021GL094672.
- Wagenbrenner JW, Ebel BA, Bladon KD, and Kinoshita AM. 2021. Post-wildfire hydrologic recovery in Mediterranean climates: A systematic review and case study to identify current knowledge and opportunities. *Journal of Hydrology*, 602, 126772.
- Wittenberg L. 2012. Post-fire soil ecology: Properties and erosion dynamics. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 58(2–3), 151–164.
- Wittenberg L and Inbar M. 2009. The role of fire disturbance on runoff and erosion processes—a long-term approach, Mt. Carmel case study, Israel. *Geographical Research*, 47(1), 46–56.
- Wittenberg L and Malkinson D. 2014. Monitoring Water Repellency Effects on Post-wildfire Infiltration and Runoff. In: EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 6025).
- Pausas JG and Keeley JE. 2019. Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289–295.
- Perevolotsky A and Sheffer E. 2011. Integrated management of heterogeneous landscape—Mediterranean Israel as a study case. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 57(1–2), 111–128.
- Schiller G, Unger ED, Cohen S, and Herr N. 2010. Water-use by Tabor and Kermes oaks growing in their respective habitats in the Lower Galilee region of Israel. *Forest Ecology and Management*, 259, 1018–1024.
- Serrano-Muela MP, Lana-Renault N, Nadal-Romero E, Regúes D, Latron J, Martí-Bono C, et al. 2008. Forests and their hydrological effects in Mediterranean mountains. *Mountain Research and Development*, 28(3), 279–285.
- Silva IC and Rodríguez HG. 2001. Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico. *Tree Physiology*, 21(12–13), 1009–1013.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). 2012. HEC-HMS Hydrologic Modeling System, User's Manual, Version 4.0, CPD-74A. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- USDA. 2009. Hydrologic Soil-Cover Complexes. National Engineering Handbook: Part 630—Hydrology.
- Velasco-Muñoz JF, Aznar-Sánchez JA, Schoenemann M and López-Felices B. 2022. An analysis of the worldwide research on the socio-cultural valuation of forest ecosystem services. *Sustainability*, 14(4), 2089.



יער אשתאול לאחר שרפה, 21 במאי 2025
צילום: עינת בהט, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

מודל תעדוף מרחבי לטיפול בצמחים פולשים ביערות קק"ל

עודד כהן^{1*} | דפנה שלף² | יהל פורת³ | שני גלייטמן⁴ | שקד לוסטגרטן¹
תומר יוסף¹ | ענת אידלמן⁵

- 1 המעבדה לצמחים פולשים, מכון שמיר למחקר, אוניברסיטת חיפה, קצרין
- 2 דפנה שלף, shelefgis.com
- 3 אקולוגיה בשירות הקהילה
- 4 גיא טבע ייעוץ סביבתי
- 5 אגף הייעור, קק"ל
- * odedic@gmail.com

תקציר

ולשיפור של המודל ברמה היישומית, וכעת ניתן לגזור ממנו תוכניות פעולה שנתיות ורב-שנתיות. המודל מהווה תשתית רעיונית מוצקה לקביעת סדרי עדיפויות בטיפול בצמחים פולשים ביערות קק"ל ובשטחים פתוחים בכלל. המשך העבודה יכלול פיתוח פרוטוקול ניטור מוסדר וזמין לכלל היערנים, מהנדסי היער והקהילה, וכן פיתוח פלטפורמת ניהול דינמית שתשלב עדכון אוטומטי של נתוני תצפיות מהשטח עם המודל, ותאפשר מיטוב מתמשך של סדרי הקדימויות לטיפול.

צמחים פולשים מאיימים על המגוון הביולוגי ועל שירותי המערכת האקולוגית ביערות קק"ל, ורמת האיום משתנה בהתאם לתכונותיהם הביולוגיות והאקולוגיות. מטרתנו הייתה לפתח מודל תעדוף מרחבי של צמחים זרים ביערות קק"ל, המבוסס על תכונות המינים הפולשים, על דפוסי הפיזור שלהם במרחב ועל רמת האיום שהם מהווים לשירותי היער על ייעודיו השונים. המודל משקלל תשעה קריטריונים: שלושה משתני ליבה (צפיפות הפרטים, רמת הבידוד וייעודי היער) ושישה משתני התאמה מרחביים (מרחק ממקור הפצה קבוע, רום טופוגרפי, קרבה לשבילים ולדרכים, הזמן שחלף מאז השרפה האחרונה, קרבה לבתי גידול לחים וערכיות משאבי טבע ונוף). המחקר הנוכחי מציג את הרציונל המשמש בסיס למודל, ואת תוצריו על יער מנחמיה כחקר מקרה. תוצרי המודל הוערכו ונבחנו יחד עם יערנים ומהנדסי יער של קק"ל, שהעניקו משוב על התאמת הקריטריונים לשטח ועל ההיתכנות של תרגום התוצר המרחבי לתכנון ממשקי בפועל. משוב זה שימש לכוון

מילות מפתח

ייעור ויערות קק"ל, מגוון ביולוגי, מודל תעדוף מרחבי, צמחים פולשים, שירותי מערכת אקולוגית

רקע

צמחים פולשים ושירותי המערכת האקולוגית

צמחים פולשים מהווים איום משמעותי על המערכות האקולוגיות בשטחים הפתוחים, לרבות יערות טבעיים ויערות נטע אדם. הם עלולים לשנות את ההרכב, המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות ובכך לפגוע במגוון הביולוגי המקומי, לשבש את תהליכי ההתחדשות של היער, ולפגוע בשירותי המערכת האקולוגית שהיער מספק (Devine and Fei, 2011; Cohen and Ram, 2015; Langmaier and Lapin, 2020; Lázaro-Lobo et al., 2023). אף על פי שהשפעתם הישירה של מינים פולשים בישראל על שירותי המערכת האקולוגית טרם נבחנה לעומק, או שהמידע עליה עדיין מוגבל, הרי שהבעיות עצמן מוכרות היטב. ריבוי צמחים פולשים ביערות עלול, אפוא, להוביל להיווצרותם של שירותי מערכת שליליים ליער (ecosystem disservices) בדרכים שונות. למשל, מינים פולשים אלרגניים עלולים לפגוע בבריאות הציבור. האמברוסיה המכונסת (*Ambrosia confertiflora*), מין צמח רב-שנתי שמוצאו באמריקה, מתפשטת לאורך מסלולי טיול והליכה, כמו טיילת נחל אלכסנדר, ומעוררת תגובות אלרגיות בקרב מבקרים (et al., 2019).

עצים פולשים עלולים גם להגביר את סכנת השרפות. קבוצת מיני השיטה האוסטרליים (Le Maitre et al., 2011), ובה נציגים פולשים בישראל, כמו שיטה כחלחלה (*Acacia saligna*) ושיטת עלי-ערבה (*A. salicina*), ידועה כבעלת פוטנציאל לעידוד שרפות. המינים האלה מייצרים ביומסה יבשה רבה, המגבירה את עומס החומר הדליק ביער, ולאחר שרפה הם אף מסוגלים להשתלט מחדש על השטח ביעילות גבוהה. התופעה מוכרת היטב, למשל, בשפלת ההר באזור שער הגיא, שם נצפתה השתלטות של שיטה כחלחלה בעקבות שרפות.

נוסף על כך, צמחים פולשים עלולים לפגוע בתשתיות. אילנתה בלוטית (*Ailanthus altissima*), עץ שמוצאו במזרח הרחוק ונפוץ מאוד בירושלים ובסביבתה, מתבסס לעיתים לצד מבנים ותשתיות, ושורשיו עלולים לגרום להם נזק (Soler et al., 2024). הבעיה עלולה להסב נזק כבד גם לערכי מורשת מוגנים. ההתבססות המהירה של עצים פולשים באתרי תצפית ובאתרים בעלי ערך נופי עלולה לחסום קווי ראייה, לפגוע בחוויית הביקור ולחייב פעולות תחזוקה שוטפות לשם שמירה על נוף פתוח ועל נגישות למבקרים. האילנתה הבלוטית נמנית על רשימת הצמחים הפולשים של ארגון "בטרם" (בטרם, 2026) כצמח אלרגני שגורם גם לדלקות עור, ומהווה איום משמעותי על בריאות הציבור (Prenzel et al., 2022).

מיני שיחים ועצים פולשים שמתרבים בשטחים עשבוניים עלולים לפגוע באיכות המרעה ובזמינותו. למשל, העץ הפולש פרקינסוניה שיכנית (*Parkinsonia aculeate*), שמוצאו באמריקה, מגביל את צמיחת המרעה באוסטרליה, ומצמצם את גישת הבקר למרעה ולמים (van Klinken et al., 2009). מין זה מאופיין בקוצים חזקים ובנטייה ליצור עומדים צפופים לאורך נחלים, וכך הוא חוסם מעבר אדם, ופוגע גם בשימושי פנאי וטיילות. בישראל מוכרים מוקדי פלישה צפופים של פרקינסוניה שיכנית בעמקי הגליל המזרחי, בעמק כינרות, בעמק המעינות ובעמק חרוד, וכן תועדה התפשטותו בשטחי מרעה באזור יער בית קשת. לא רחוק משם, באזור קרני חיטים, פולשת גם שיטת ויקטוריה (*Acacia victoria*) המתבססת בנופים עשבוניים באקלים הצחיח למחצה של הארץ בגליל המזרחי ובמערב הנגב. באזור מושב רמות דווח כי התפשטותה פוגעת בשטחי מרעה (תלי ראובני, מידע אישי).

לצד עצים ושיחים פולשים, גם צמחים עשבוניים פולשים עשויים להשתלט על תת-היער וליצור כיסוי צפוף ודומיננטי, תוך דחיקת המינים המקומיים. בישראל בולטת נוכחותם של טיונית החולות (*Heterotheca subaxillaris*) בחולות מישור החוף ושל כנפון זהוב (*Verbesina encelioides*) במערב הנגב. הכנפון מכיל את הרעלן galegine, ולפיכך נחשב כמסוכן לרעייה של כבשים ובקר (Lopez et al., 1996). אומנם למינים פולשים מסוימים, כמו טיונית החולות, כנפון זהוב או חמצץ נטוי (*Oxalis pes-caprae*), יש מופע פריחה מרשים, אבל השתלטותם על הנוף כרוכה באובדן המגוון של הצומח המקומי. בשנים האחרונות גוברים הדיווחים על השתלטות חמצץ נטוי בתת-היער ביערות מישור החוף, למשל בחורשת הסרג'נטים וביער אילנות (איור 1), והתופעה יוצרת איום למיני צמחים רבים, ובהם מינים מוגנים, נדירים ואנדמיים (אבישר ואח', 2021).

לבסוף, ברשימת הצמחים הפולשים בישראל נכללים גם צמחי מים בתפוצה עולמית ממוצא טרופי, ובהם פיסטיה צפה (*Pistia stratiotes*), אלף עלה מימי (*Myriophyllum aquaticum*) ואיכהורניה עבת-רגל (*Pontederia crassipes*), המוכרת יותר בשמה העממי – יקינתון המים – שמאיימים, בין השאר, גם על מקרקעי קק"ל. בעבר התפשטה הפיסטיה בתעלות המים בעמק החולה, אך פעולות ממשק יעילות, שכללו איסוף מכני של הצמח, הובילו למיגור התופעה (אפי נעים, מידע אישי). נכון לעת הזו מוקדי הפלישה של המין בישראל מוגבלים יחסית. פלישת האיכהורניה הובילה לאחרונה לפעולת ממשק חריגה בהיקפה, שכללה ייבוש מוחלט של אגם הסופרלנד בראשון לציון. ידוע כי מין זה חוסם את חדירת קרינת השמש לגוף המים, גורם להתמוטטות תפקודית של המערכת האקולוגית,



איור 1

השתלטות חמציץ נטוי בתת-היער באילנות

א. מראה הנטף החד-גוני; ב. כלנית בודדה בנטף; ג. מראה פריחת החמציץ. חורף 2025. צילום: עודד כהן.

משאבים ניכרת ובמחויבות לתחזוקה רב-שנתית למניעת פלישה חוזרת (כהן ואח', 2020; כהן וקופלר, 2022). לנוכח מגבלות התקציב, ובשל השונות הרבה בין מוקדי הפלישה מבחינת צפיפות הצמחים, נגישות השטח, שיטות הטיפול האפשריות ורמת הסיכון למגוון הביולוגי ולשירותי המערכת האקולוגית, עולה צורך בגיבוש סדרי עדיפויות ברורים לטיפול, כלומר בקביעה מושכלת היכן ראוי להתערב תחילה ובאילו מוקדים יש למקד את המאמץ (Courtois et al., 2022; Potgieter et al., 2018). בהקשר זה, הליך החשיבה האנליטי מוצע ככלי עבודה סדור, שתוצריו מאפשרים למפות באופן שיטתי והיררכי את סדרי העדיפויות לטיפול במוקדי פלישה של צמחים פולשים, ובכך לתמוך בקבלת החלטות ובתכנון תוכניות עבודה רב-שנתיות.

נהוג להבחין בין תעודף טקסונומי לטיפול בצמחים פולשים (לדוגמה Randall et al., 2008; Ziller et al., 2020), העוסק בשאלה באילו מינים יש לטפל תחילה, לבין תעודף מרחבי, העוסק בקביעת קדימות הטיפול בין שטחים ומוקדי פלישה (Potgieter et al., 2022). סקירת ספרות שפורסמה בשנת 2022, ובה נבחנו 27 תוכניות פעולה המבוססות על קביעת סדרי עדיפויות לממשק, הראתה כי שליש מן המחקרים נערכו בארצות הברית, 22% באפריקה, 7% באוסטרליה, והיתר באזורים אחרים בעולם (Forner et al., 2022). עוד עלה מן הסקירה, כי מרבית הפרויקטים התבססו על מידע מן הספרות, ורק מיעוטם שילבו גם סקרי שדה. הקריטריון המרכזי בקבלת ההחלטות היה רמת האיום של הצמחים הפולשים, ואילו שיקולי ישימות נכללו לעיתים רחוקות בלבד. מבחינת שלב ההתערבות, למעלה ממחצית הפרסומים עסקו במניעה, 22% באיתור מוקדם ובתגובה מהירה, 22% בפלישות מבוססות, ורק 4% במיגור מלא. באשר לסוג התעודף, 52% מן הפרסומים עסקו בתעודף טקסונומי, ו-48% בתעודף מרחבי. הקריטריונים השכיחים ביותר בניתוחים ההיררכיים היו רמת האיום של המין הפולש ורגישות בית הגידול או רמת האיום עליו, בעוד

פוגע במדגה, ובסופו של דבר עלול להפוך את גוף המים למוקד למכנעי יתושים בסביבתו (Ayanda et al., 2020).

במסמכי מדיניות היער ותורת ניהול היער בישראל (אסם ואח', 2014) מודגש כי כל יחידת יער מתוכננת כך שתתפתח בה תצורת צומח רצויה המתיישבת עם ייעודי היער המרכזיים, למשל יער רב-תכליתי, יער המיועד לנופש או שטחי חיץ. שמירה על שירותי המערכת האקולוגית בייעודי היער השונים לפי מדיניות הייעור מחייבת התייחסות לצמחים פולשים כאחד האיומים המרכזיים בשנים הבאות (Jones and Grenz, 2023). לנוכח האיומים על המגוון הביולוגי ועל תפקוד שירותי המערכת האקולוגית, קק"ל פועלת לצמצום התופעה והנזקים הנלווים לה.

ברשימת הצמחים הפולשים בנכסי קק"ל בולט חלקם של המינים המעוצים, כמו שיטה כחלחלה, שיטת עלי-ערבה, שיטת ויקטוריה, פרקינסוניה שיכנית, צחר כחלחל (*Leucaena leucocephala*), פלפלון דמוי-אלה (*Schinus terebinthifolia*) ואילנתה בלוטית. מרבית השיחים והעצים הפולשים הם פליטי תרבות, ובכללם גם עצי יער שהתגברו על מכשולי הריבוי, ההפצה וההישרדות של הזרעים בסביבתם החדשה, והם מתרבים ומתפשטים בצפיפות רבה ובהיקפים גדולים. מבין עצי היער שהפכו פולשים עם השנים בולט חלקם של מיני השיטה האוסטרליים (שיטת ויקטוריה, שיטת עלי-ערבה, שיטה כחלחלה).

לשימורן של חברות הצומח המקומיות בישראל יש חשיבות ערכית בפני עצמה, אך מעבר לכך, התפשטותם של צמחים פולשים אינה רק שינוי בצומח ובצמחייה הטבעיים, אלא תהליך בעל השלכות סביבתיות מובהקות, שעלול לפגוע בתפקוד היער ובשירותי המערכת האקולוגית שהוא מספק.

מדיניות וסדרי עדיפות לטיפול בצמחים פולשים

טיפול במוקדי פלישה של צמחים פולשים כרוך בהשקעת

לדרג את מוקדי הפלישה על פני רצף עדיפויות, לזהות את האתרים שהתשואה האקולוגית והניהולית בהם מהשקעת המשאבים היא הגבוהה ביותר, ולקבוע את סדר העדיפויות לממשק בהתאם. באופן זה, תוכנית הפעולה המתקבלת צפויה להיות גם ישימה וגם משתלמת.

שיטות

הגישה הממשקית, מבנה המודל וסולמות הניקוד

השימוש ברמות סדר חצי כמותיות, כגון ארבע דרגות לחשיבות על שמירה על משאבי טבע ונוף, מקובל בספרות העוסקת בקביעת סדר העדיפויות לטיפול במינים פולשים ובניתוח מרובה קריטריונים, ואין טווח ערכים מספרי אחיד ומוסכם לכלל הקריטריונים (Darin et al., 2011; EPP0, 2012). בהתאם לכך, המודל המוצע מבוסס על תשעה קריטריונים המחולקים לשתי קבוצות: שלושה משתני ליבה: צפיפות הפרטים במוקד, רמת הבידוד של המוקד וייעודי היער, ושישה מקדמי התאמה: מרחק ממקור הפצה קבוע, רום טופוגרפי, קרבה לשבילים, הזמן שחלף מאז השרפה האחרונה, קרבה לבתי גידול לחים וערכיות משאבי הטבע והנוף (נוסחה 1). משתני הליבה מחושבים כמכפלה, ותוצאתם מוכפלת בסכום מקדמי ההתאמה. מבנה זה מעניק למשתני הליבה עדיפות מבנית במודל, שכן כל שינוי בערכו של אחד מהם משפיע על הציון הסופי באמצעות הכפלת כלל רכיבי ההתאמה, בעוד שכל אחד ממקדמי ההתאמה משפיע כרכיב יחיד בתוך סכום של שישה משתנים. לכל אחד ממשתני הליבה הוקצה סולם סדר צר יחסית, 1, 1.3, 1.6 ו-1.9, ולכן טווח המכפלה המצטברת שלהם נע בין 1 ל-6.86.

ששיקולים של ישימות ועלות כלכלית נבחנו לעיתים נדירות בלבד. מהממצאים האלה עולה שלמרות הידע המצטבר בדבר השפעותיהם של צמחים פולשים על סביבתם, עדיין חסרה מסגרת סדורה ואינטגרטיבית לקביעת סדרי עדיפויות לממשק.

מתוך צורך זה פותחה בשלוש בשנים האחרונות גישה יישומית לקביעת סדרי עדיפויות לטיפול במוקדי פלישה ביערות קק"ל, המשלבת בין שיקולי ישימות ממשקית לבין התועלת הצפויה לשמירה על שירותי היער על ייעודיו השונים (פורת וגלייטמן, 2024). מטרת עבודה זו היא לפתח מודל לקביעת סדר עדיפויות לטיפול במוקדי פלישה של מספר מינים במקביל, ולא במין אחד ספציפי. הגישה המעשית לטיפול בצמחים פולשים בעבודה זו מניחה כי התערבות יזומה במוקדי פלישה צריכה להיות ישימה וגם משתלמת (כהן ואח', 2020; כהן וקופלר, 2022). הישימות מתייחסת ליכולת ליישם את הממשק בפועל, כלומר במסגרת תקציבית מוגבלת, במאפייני השטח והנגישות, בזמינותם ובהתאמתם של כלים הנדסיים ואמצעי הטיפול, וכן ביכולת לקיים תחזוקה רב-שנתית שתמנע פלישה חוזרת. הכדאיות נקבעת ביחס שבין עלות המאמץ הניהולי לבין תרומתו למיצוי התועלת של היער בהתאם לייעודי השטח. מאחר שכל מין פולש משפיע באופן שונה על ייעודי היער המגוונים, נדרש תהליך שיטתי המבוסס על שקלול בין גורמים ביולוגיים, אקולוגיים ויישומיים. הליך החשיבה האנליטי מבוסס על הגדרה מראש של קריטריונים מגוונים הקשורים לישימות הממשקית ולתועלת הצפויה לצמצום עתידי של הפלישה ולשימור התכלית של ייעודי היער. איחוד הקריטריונים למדד משוקלל אחד מאפשר

$$P = (A \times I \times G) \times (D + E + T + F + W + H)$$

נוסחה 1

חישוב רמת העדיפות לטיפול

הנוסחה מחשבת את רמת העדיפות לטיפול (P) ככפל של שלושת משתני הליבה (צפיפות הפרטים במוקד, רמת הבידוד וייעודי היער) בסכום ששת משתני ההתאמה (מרחק ממקור הפצה קבוע, רום טופוגרפי, קרבה לשבילים, הזמן מאז השרפה האחרונה, קרבה לבתי גידול לחים וערכיות משאבי הטבע והנוף), כך שהמשתנים הראשונים קובעים את חומרת מוקד הפלישה, והמשתנים האחרים מכוונים את ציון העדיפות הכולל.

1. צפיפות הפרטים במוקד (A): מספר פרטים לדונם למינים מעוצים, או כיסוי יחסי למינים עשבוניים
2. רמת בידוד (I): מיקום המוקד ביחס לצפיפות מוקדי פלישה נוספים באזור
3. איום על ייעודי היער (G): רמת האיום הספציפית של המין הפולש על ייעודים שונים של שטחי היער
4. מרחק ממקור הפצה קבוע (D): מיקום המוקד ביחס למקור הפצה שאינו בשליטת קק"ל
5. רום טופוגרפי (E): רמת איום הפצה ספציפית למינים שונים בגבהים טופוגרפיים שונים
6. קרבה לשבילים (T): רמת הזיקה הספציפית של מינים שונים ובמרחקים שונים מדרכים ראשיות ומדרכי עפר
7. זמן ממועד השרפה האחרונה (F): ערך הניתן למוקד הפלישה על פי הזמן שעבר ממועד השרפה האחרונה
8. קרבה לבתי גידול לחים (W): רמת הזיקה הספציפית של מינים שונים ובמרחקים שונים מגופי מים, ממעינות ומערוצי נחלים
9. ערכיות משאבי טבע ונוף (H): ניקוד כשטח בעל ערכיות נוף משולבת גבוהה לפי סקרי דש"א או מוקדה (hotspot) לפי סקרי קק"ל.

מקדם מרחבי (מטרים)				רמה		מקדם טקסונומי
30 – 0	100 – 30	300 – 100	>300			
9	6	3	1	1	נמוכה	
11.7	7.8	3.9	1.3	1.3	בינונית	
14.4	9.6	4.8	1.6	1.6	גבוהה	
17.1	11.4	5.7	1.9	1.9	גבוהה מאוד	

טבלה 1

מטריצת ניקוד לקביעת קדימות טיפול לפי מקדם טקסונומי ומקדם מרחבי

המקדם הטקסונומי מתייחס לרמת הסיכון של הצמח הפולש על ייעוד השטח לפי מדרג 1-1.9, ואילו המקדם המרחבי מתייחס לגורמי האיתור של המוקד, במקרה זה המרחק במטרים מרצועת החיץ. עבור כל מקדם נקבעו ארבע רמות. בדרך זו טווח הערכים המתקבל נע בין 1 ל-17.1. סולם סדר זה שימש לייחוס כל הקריטריונים במודל.

יבש וצפוף. לא מדובר רק בפגם אסתטי, אלא גם בהתגברות סכנת השרפות שעלולה להקשות על ביצוע טיפולי המשך למניעת פלישה חוזרת. נוסף על כך, במוקדי פלישה צפופים ונרחבים פוטנציאל ההתחדשות מבנק הזרעים לרוב גבוה יותר, ולכן נדרש ממשק רב-שנתי מתמשך, לעיתים קרובות בשילוב אמצעים כימיים, שעלול גם לעכב את התאוששותה של הצמחייה המקומית. משום כך, צפיפות הפרטים מהווה גורם מהותי בקביעת היתכנות הטיפול, עלותו והשלכותיו האקולוגיות. הערך הניתן לצפיפות הפרטים חושב על סולם סדר מ-1 עד 1.9, בערכים 1, 1.3, 1.6 ו-1.9, בהתאם להתפלגות צפיפות הפרטים בכלל המוקדים. הערכים האלה יוחסו לרבעוני הצפיפות, מן הרבעון הצפוף ביותר ועד לרבעון הדליל ביותר, כך שמוקדים ברבעון הצפוף ביותר קיבלו את הערך 1, ואילו מוקדים ברבעון הדליל ביותר קיבלו את הערך 1.9.

רמת הבידוד של מוקד הפלישה הוא קריטריון המבטא את המיקום של מוקד הפלישה ביחס לצפיפות מוקדי הפלישה האחרים בסביבתו. ככל שצפיפות מוקדי הפלישה במעגלים הקרובים למוקד הספציפי קטנה יותר, כך רמת הבידוד גבוהה יותר. מבחינת עלות-תועלת, טיפול במוקדי פלישה מבודדים מניב לרוב תועלת שולית גבוהה יותר לכל יחידת משאב בהשוואה לטיפול במוקדים המצויים בתוך רצף של מוקדי פלישה (Moody and Mack, 1988; Eppinga et al., 2021; Lampert and Liebhold, 2023). כאשר מוקד מבודד מצוי בשטח שעדיין נותר נקי יחסית, כל משאב המושקע בו מסייע לצמצם מראש את פוטנציאל ההתפשטות לאזורים סמוכים שטרם נפגעו. במובן זה, השקעה במוקד מבודד עשויה לשמש בלם יעיל בפני התקדמות הפלישה. כלומר, אף אם העלות לטיפול בפרט בודד דומה, התועלת היחסית במונחים של מניעת התפשטות עתידית – גבוהה יותר. לעומת זאת, התרומה השלילית של מוקד המצוי בתוך רצף

לעומת זאת, כל אחד ממקדמי ההתאמה מחושב כמכפלה של מקדם טקסונומי ייחודי למין, בערכים 1, 1.3, 1.6 ו-1.9, ושל מקדם מרחבי ניהול, בערכים 1, 3, 6 ו-9, הניתן לגורם האיתור של מוקד הפלישה ביחס לקריטריון הנבחן (טבלה 1). בהתאם לכך, טווח הערכים של כל מקדם התאמה נע בין 1 ל-17.1, וסכום ששת המקדמים נע בין 6 ל-102.6, כך שטווח הציונים התאורטי של המודל כולו נע בין 6 ל-703.73. טווחי הערכים במודל נקבעו באופן יישומי, מתוך רצון ליצור הבחנה היררכית ברורה בין שתי קבוצות הקריטריונים. לצורך בחינת יציבות המודל נבחנו תרחישים חלופיים של ערכי סקאלה, והדירוגים שהתקבלו הושוו לדירוג המקורי.

פירוט הקריטריונים במודל

שלושת משתני הליבה

צפיפות הפרטים, קריטריון המבטא את מספר הפרטים ליחידת שטח עבור מינים מעוצים או כיסוי יחסי של עשבונים על פני השטח. קריטריון זה הוא אחד הגורמים המרכזיים המשפיעים על ישימות הממשק, שכן ככל שהצמח הפולש מצוי בצפיפות גבוהה יותר, כך הטיפול נעשה מורכב, יקר וממושך יותר, וסיכויי הצלחתו פוחתים (Le Maitre et al., 2011; Kerr et al., 2016; Schiffler and Essl, 2016). כאשר הפרטים מפוזרים בדלילות במרחב, ניתן לעיתים להסתפק בטיפול נקודתי, כמו חריטה בעזרת גרזן והזלפת חומרי הדברה לגזע, תוך השארת העצים במקומם. במצבים האלה העלות נמוכה יחסית, הפגיעה האסתטית מוגבלת, הסיכון להיווצרות שרפות קטן, והטיפול ניתן ליישום בעלות נמוכה בשטחים נרחבים. לעומת זאת, כאשר הצמחים הפולשים יוצרים עומדים צפופים, נדרש בדרך כלל טיפול אינטנסיבי יותר, הכולל פינוי ביומסה באמצעות כלים מכניים כבדים ולעיתים גם גריסה, כדי למנוע הצטברות של סבך

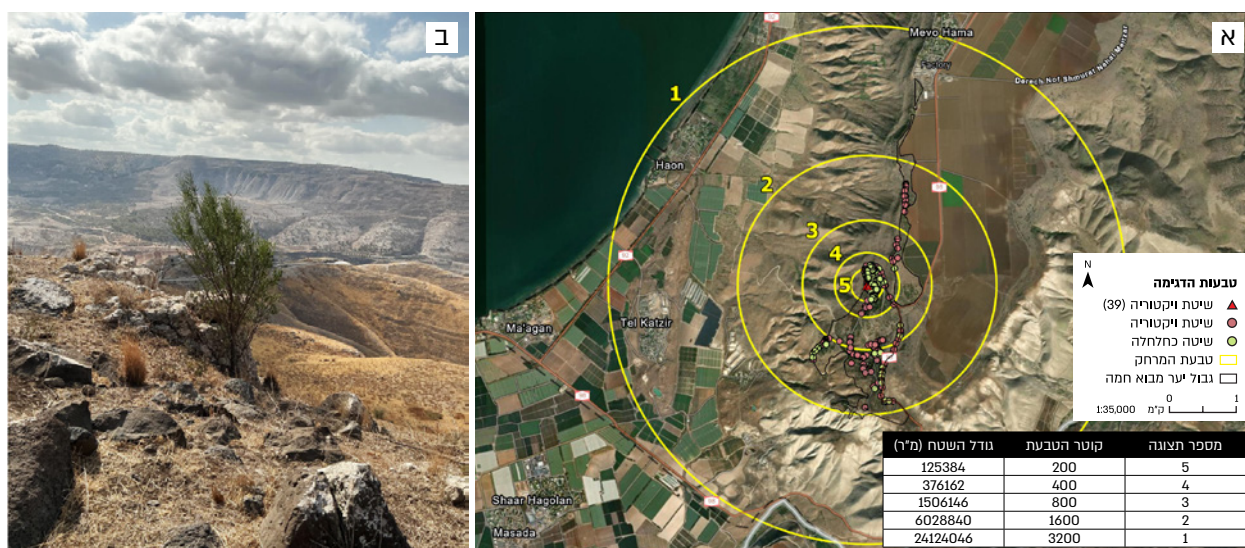
הדגמה, נניח שייעוד השטח האמור הוא שמירה על שטחי חיץ: קיים הבדל מהותי אם הצמח הפולש לשטח הוא אמברוסיה מכונסת או שיטה כחלחלה. שני המינים נוטים להתבסס ולהתפשט בשטחים מופרעים, אולם האיום של שיטה כחלחלה על תפקוד שטחי החיץ גבוה יותר, משום שהיא גבוהה יותר, מייצרת כמות גדולה יותר של ביומסה יבשה, דליקה יותר, ומעמידה בנק זרעים צפוף המתחדש לאחר שרפה. לכן, בהיתן שני מוקדי פלישה סביב יישוב כמו בית זית בהרי ירושלים, האחד של אמברוסיה מכונסת והשני של שיטה כחלחלה, הקדימות הממשקית תהיה לטפל תחילה במוקד השיטה ורק לאחר מכן במוקד האמברוסיה, גם אם אמברוסיה מכונסת נחשבת לעשב משבש ממדרגה ראשונה.

לצורך מתן ניקוד לרמת האיום של מוקדי הפלישה על ייעודי היער קבענו ערך טקסונומי לרשימת המינים שנמצאו בסקרי שדה. סולם הסדר של הערכים, מן הנמוך לגבוה, הוא 1, 1.3, 1.5, 1.7 ו-1.9. במקרה המתואר, הערך הטקסונומי של אמברוסיה מכונסת הוערך 1, לעומת 1.9 עבור שיטה כחלחלה. המקדם המרחבי של מוקד הפלישה מתייחס למרחק מרצועת החיץ. סולם הסדר מן הנמוך לגבוה הוא 1, 3, 6 ו-9 עבור המרחקים הגדולים מ-300 מטר, 300–100 מטר, 100–30 מטר וכחות מ-30 מטר. בדרך זו טווח הערכים המשולב של המקדם הטקסונומי וגורם האיתור נע

של מוקדי פלישה נוספים להפצה בסביבתו היא שולית, משום שהוא מוקף במקורות זרעים סמוכים. יתרה מכך, לאחר טיפול נרחב השטח נותר חשוף לפלישה חוזרת ממקורות הפצה סמוכים. חישוב רמת הבידוד נעשה באופן הבא: עבור כל מוקד פלישה (צמח פולש בודד או ריכוז של פרטים מאותו המין) נספרו מוקדי פלישה נוספים בתוך טבעות מרחק קונצנטריות כמתואר באיור, בהתאם לקטרים המפורטים בטבלה שבאיור 2. לכל טבעת יוחס ערך אורדינלי בין 1 ל-5, כמתואר בטבלה שבאיור. מספר מוקדי הפלישה בכל טבעת חולק בשטח הטבעת, ורמת הבידוד של מוקד הפלישה הוגדרה גבוהה יותר, ככל שהערך המצטבר היה נמוך יותר.

איום על ייעודי היער המיוחסים למטרות הייעור והניהול של היער בישראל, כפי שהוגדרו במסמך תורת ניהול היער (אסם ואח', 2014). הייעודים כוללים יער רב-תכליתי, נופש וטיילות, מורשת ותצורות נוף ייחודיות, אזורי חיץ לאש, ערכי טבע ובתי גידול ייחודיים, יער קהילתי ומחקר. המדרג היחסי של מוקדי הפלישה עבור קריטריון ייעודי היער נקבע על פי מקדם טקסונומי ייחודי לכל מין פולש, בשילוב עם מקדם מרחבי (טבלה 1).

הערך הטקסונומי נקבע על בסיס הערכה של רמת האיום שהצמח הפולש מציב על ייעודי השטח שפלש אליו. לצורך



איור 2

השפעת רמת הבידוד של מוקד הפלישה על רמת הפגיעה בסביבתו

א. הדגמה של חישוב מדד הבידוד על מוקד פלישה של שיטת ויקטוריה ביער מבוא חמה. עבור כל מוקד ספציפי חושבו מספר מוקדי הפלישה בטבעות מרחק כמתואר בטבלה באיור (קוטר הטבעת). לכל טבעת ניתן ערך אורדינלי בערכים של 1–5 (בצורה). מספר המוקדים בכל טבעת חולק בשטחה (גודל השטח במ"ר). מדד הבידוד התקבל כסכום הערכים המנומלים, כך שערך נמוך יותר מעיד על רמת בידוד גבוהה יותר. ב. עץ בודד של שיטת עלי-ערבה. עץ זה יוצר לחץ הפצה על סביבתו הקרובה שבה אין עוד מוקדי פלישה מלבדו, ומכאן החשיבות הרבה לטיפול במוקד זה.

קרבה לשבילים משפיעה באופן ישיר הן על נגישות השטח לעבודת השטח הן על דפוסי ההפצה של הצמחים הפולשים (von der Lippe and Kowarik, 2007). ככל שהטיפול מתבצע קרוב יותר לשביל, קל יותר לבצע התערבות, שכן כלי הרכב יכולים ללוות את הצוותים, ואין צורך לשאת ציוד ידנית. נוסף על כך, שבילים מהווים בתי גידול מופרעים ומסדרונות הפצה, שצמחים פולשים מתבססים בהם ומפיצים מהם זרעים. כלי רכב ומטיילים המשתמשים בשבילים תורמים לפיזור הזרעים לאורך רשת השבילים. לפיכך, קיימת חשיבות רבה לתת עדיפות לטיפול בסמיכות לשבילים, בייחוד במינים המייצרים כמויות גדולות של זרעים ביחס למינים אחרים.

הזמן שחלף ממועד השרפה קובע את יעילות הממשק במניעת התבססותם של צמחים פולשים, כך שהתערבות ככל הניתן בסמיכות לאירוע השרפה צפויה להיות יעילה יותר (Keeley, 2006). שרפה יוצרת חלון הזדמנות לפלישה: היא מכחישה את התחרות עם הצומח המקומי, מגדילה את זמינות האור והמשאבים, ולעיתים מגבירה את גיוס הצאצאים של הצמחים הפולשים מבנק הזרעים או ממקורות הפצה סמוכים. לכן בשנים הראשונות שלאחר השרפה גדל הסיכון להתבססות ולהתפשטות של מינים פולשים. השקעת משאבים בניטור ובתגובה מהירה בשלבים מוקדמים לאחר השרפה זולה יחסית, ויכולה לעיתים לחסוך עלויות משמעותיות שיידרשו לטיפול בפלישה בשלבים מאוחרים יותר. נכון להיום המודל מתייחס לשכבת השרפות, אך אפשר להרחיב את המשתנה גם להפרעות אקוטיות אחרות בבית הגידול, לדוגמה הזמן ממועד נטיעה, ובייחוד כאשר מדובר בעבודות הנדסיות בשטח ובשימוש בקוטלי עשבים להגנה על הנטיעות.

בתי גידול לחים באקלים הים תיכוני מאופיינים בזמינות מים גבוהה, בלחות יחסית ובדרגת הפרעה אנושית מוגברת לאורך מקווי מים וגדות נחלים, ולכן הם מושכים אליהם ריכוז גבוה של מינים פולשים ומאפשרים את התפשטותם (Arianoutsou et al., 2013). ערוצי הנחלים משמשים גם מסדרונות הפצה יעילים במורד הזרם, ולכן טיפול ממוקד בצמחים פולשים לאורך ערוצי הנחלים עשוי לתרום לבלימת התפשטותם למרחב גדול יותר.

משאבי טבע ונוף במחקר זה נקבעו על בסיס סקרי קק"ל למוקדות (hotspot) במגוון הביולוגי, ובעיקר על סקרי דש"א המספקים מדד משולב למאפייני חברת הצומח ולמשאבי נוף ומורשת. במדד זה ניתן מקדם טקסונומי גבוה במיוחד למינים מהנדסי סביבה (transformers) שהם תת-קבוצה של מינים פולשים, המשנים את אופייה ותפקודה של המערכת האקולוגית ונוטים ליצור כתמים רציפים וצפופים.

בין 1 בהדגמה על אמברוסיה מכונסת במרחק העולה על 300 מטר מרצועת החיץ, לבין 17.1 עבור שיטה כחלחלה הגדלה בתוך רצועת החיץ. באופן דומה לשמירה על שטחי חיץ, השתמשנו במקדם טקסונומי ובמקדם מרחבי להערכת הסיכון של הצמחים הפולשים לכלל היעודים של היערות. הערכת התכונות המאיימות על ייעודי היער הרב-תכליתי כללה התייחסות לדגם הפיזור של הצמחים הפולשים (פזור או קווי), למאפייני צפיפות המוקדים, ליכולת תחרות בשלבי סוקצסיה מאוחרת, לפוטנציאל התחדשות לאחר שרפה וליכולת גיוס צאצאים. עבור ייעודי נופש, תיירות ומורשת נקבעו קריטריונים המתייחסים לנראות (פגם אסתטי), לסכנה לבריאות הציבור (רעילות, אלרגיות), לפגיעה בשטחי פנאי, לפגיעה בנגישות או בתצפית ולזיקה להתבססות בצמידות להפרעות ולתשתיות.

משתני התאמה מרחביים

טווח הערכים של כל אחד מששת מקדמי ההתאמה נע בין 1 ל-17.1, כשילוב של מכפלת המקדם הטקסונומי במקדם המרחבי, כמתואר בטבלה 1.

מרחק ממקור הפצה קבוע מתייחס למרחק של מוקד הפלישה ביחס לשולי יישובים ולתשתיות המשמשים מקורות זרעים מתמשכים, ומשפיעים על לחץ ההפצה של המינים הפולשים אל השטחים הפתוחים. הפחתת לחץ ההפצה על בתי הגידול בשטחים הפתוחים מחייבת שיתוף פעולה בין קק"ל לבין הרשויות המקומיות והגופים המנהלים את השטחים הסמוכים ליער, אולם שיתופי פעולה כאלה אינם מתקיימים תמיד, ולכן לחץ ההפצה נותר בעינו. מטבע הדברים, ככל שמתרחקים ממקור קבוע של אספקת זרעים, לחץ ההפצה קטן, והיעילות ארוכת הטווח של הטיפול עולה. משום כך, עדיף במקרים רבים להפנות את המאמץ הניהולי למוקדי פלישה המרוחקים ממקורות ההפצה הקבועים, ולא דווקא לשטחים הסמוכים להם.

הרום הטופוגרפי משפיע על דפוסי ההפצה של צמחים פולשים, שלרוב מתפשטים מרום גבוה לרום נמוך. השפעה זו חזקה בייחוד אצל מינים המופצים במים וברוח, וחלשה יותר אצל מינים המופצים על ידי בעלי חיים. למשל, אמברוסיה מכונסת מופצת בעיקר באמצעות פירות וזרעים הנסחפים במי נגר ובערוצי נחלים, בעיקר באירועי שיטפון. ההערכה היא כי התפשטות מין זה בעמק חפר ובבקעה התרחשה בעקבות מוקד פלישה שזרעיו נסחפו לאורך ערוצי הנחלים באגן שכס-אלכסנדר מערבה ובאגן נחל תרצה מזרחה. לעומת זאת, שיטה כחלחלה, המופצת בעיקר על ידי נמלים, מושפעת פחות מן הרום הטופוגרפי, ולכן מוקדי פלישה גדולים עשויים להתפשט גם במעלה המדרון, כפי שנצפה במוקד הפלישה במדרונות שער הגיא.

איסוף נתונים ועיבוד שכבות מידע – יער מנחמיה כחקר מקרה

איסוף הנתונים של השפע והפיזור של הצמחים הפולשים נעשה באמצעות סקרי שדה בכלל שטח המחקר ביער מנחמיה. הסקרים כללו נסיעה לאורך שבילי היער, הליכה רגלית באזורים נבחרים, ותיעוד אווירי באמצעות רחפן AVATA לצורך איתור מוקדי פלישה והשלמת מידע מרחבי. תצפיות המינים הפולשים תועדו ביישומון Field Maps ייעודי של ESRI המאפשר רישום גאוגרפי מדויק של כל מוקד פלישה לפי מין (איור 3). לצורך סטנדרטיזציה של עבודת הסוקרים חולק שטח המחקר לרשת אחידה של משבצות בגודל 33×33 מטר (1 דונם), שנבנתה כשכבת פוליגונים המכסה את כלל שטח המחקר. גודל המשבצת נבחר כך שיאפשר לסוקר להעריך באופן עקבי את מצב הצמחייה הפולשת בסביבתו הקרובה ולכמת את הפרטים ביחידת שטח סטנדרטית (צפיפות לדונם). עבור כל משבצת נרשמה הערכה של מספר הפרטים עבור מינים מעוצים או אחוז כיסוי עבור מינים עשבוניים ובנפרד לכל מין. כל הופעה של מין פולש במשבצת הוגדרה כתצפית, וכל תצפית שימשה יחידת הניתוח הבסיסית לחישוב ערכי הקריטריונים במודל.

שכבת התצפיות של המינים הפולשים התבססה על נתוני הסקר שנאספו בשטח. נתוני התצפיות יובאו לסביבת GIS (ממ"ג) כשכבת נקודות, ושויכו למשבצות הרשת, כולל המידע מתמונות הרחפן. לאחר מכן חושבו לכל תצפית ערכי המשתנים ששימשו במודל התעדוף, על בסיס שילוב בין נתוני השדה לבין שכבות מידע מרחביות ממספר מקורות. שכבת ייעודי השטח התבססה על יחידות הממשק האקולוגי של קק"ל, ושימשה לחישוב משתנה ייעודי השטח, וכן של הרכיב המרחבי הרלוונטי לייעוד הנבחן. הליך תכנון והכנת תוכנית או מפת ייעודי שטח ליער עבור יער מנחמיה נעשו כרקע לעבודה זו. שכבת אזורי החיץ

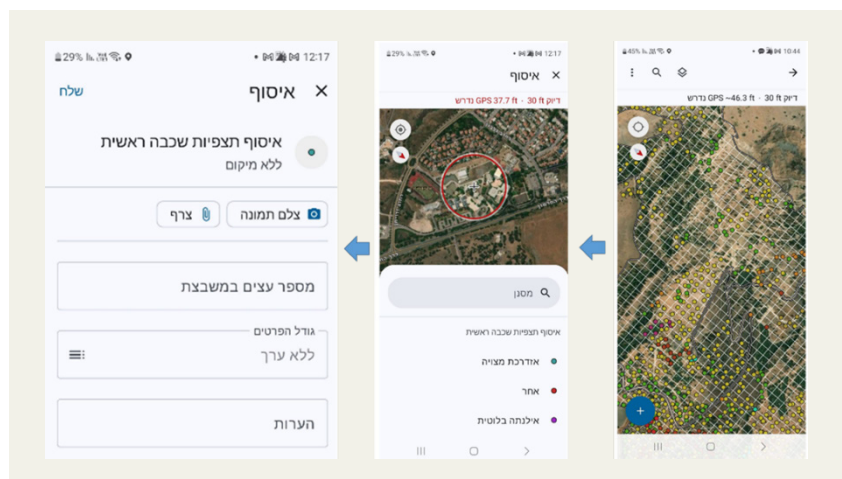
הארציים של קק"ל שימשה להערכת הקרבה לשטחי חיץ במקרים הרלוונטיים. שכבות בתי הגידול הלחים, המעיינות, הנחלים והתעלות התקבלו ממאגרי קק"ל, ושימשו לחישוב הקרבה לבתי גידול לחים. שכבת היישובים והמתקנים, ששימשה להגדרת מקורות הפצה קבועים, התבססה על כרויקט Open Street Map של ישראל. מידע טופוגרפי נגזר משכבת קווי הגובה של קק"ל, ושכבת השרפות עם מועד השרפה האחרון התבססה על נתוני רשות הטבע והגנים. שכבת השבילים והדרכים התקבלה אף היא ממאגרי קק"ל. לצורך הערכת ערכיות אקולוגית שולבו שכבות EcoVal של מכון דש"א המספקות מדד משולב לערכי טבע, לבתי גידול ייחודיים ולמשאבי נוף. כל השכבות והחישובים נעשו ברשת ישראל החדשה: Israel Transverse Mercator והותאמו לגבולות יער מנחמיה.

לאחר בניית בסיס הנתונים המרחבי חושבו עבור כל תצפית תשעת הקריטריונים של המודל. צפיפות הפרטים (A) חושבה מתוך נתוני הסקר, ולאחר מכן הומרה לסולם סדר על פי רבעוני ההתפלגות בכלל המוקדים. רמת הבידוד (I) חושבה באמצעות טבעות מרחק קונצנטריות סביב כל מוקד פלישה, ספירת מוקדי פלישה נוספים בכל טבעת ונרמול מספרם לפי שטח הטבעת כמתואר בתיאור הקריטריונים למודל. ייעודי היער (G) וכן ששת משתני ההתאמה המרחבית חושבו על בסיס שילוב של מקדם טקסונומי ומקדם מרחבי (כמתואר בתיאור הקריטריונים למודל) בהתאם לשכבות המידע הרלוונטיות. המרחק ממקור הפצה קבוע (D) הקרבה לשבילים (T) והקרבה לבתי גידול לחים (W) חושבו כמרחקים בקו אווירי. הרום הטופוגרפי (E) נגזר מן המידע הטופוגרפי. הזמן ממועד השרפה האחרון (F) חושב באמצעות חיתוך מרחבי עם שכבת השרפות. ערכיות משאבי הטבע והנוף (H) נקבעה באמצעות חיתוך מרחבי עם שכבות הערכיות האקולוגיות של דש"א. לבסוף חושב

איור 3

שיטת הניטור בפלטפורמת Field Maps

מימין שכבת המשבצות על גבי תצלום אוויר של יער מנחמיה. הנקודות הצבעוניות מסמנות מינים פולשים שונים. לחיצה על הסמן "+" פותחת רשימה קיימת לזיהוי המין הפולש, וממנה נפתח חלון (באמצע), שבו ניתן לבחור אחד מהמינים הפולשים. בחירת המין בלחיצה פותחת חלון איסוף תצפיות לשכבה ראשית (משמאל), ובו שדות שונים למילוי, כמתואר למעלה.



שיטת ויקטוריה (איור 4). דגם ההתפשטות של הצמחים הפולשים ביער כלל כמה טיפוסים מרחביים בולטים: דגם נקודתי, המתבטא במוקדי פלישה מבודדים יחסית ממוקדים סמוכים נוספים (איור 4א), דגם קווי לאורך שבילים וערוצי נחלים (איור 4ב), וכן דגם פזור בצפיפות נמוכה, בינונית (איור 4ג, 4ד) וגבוהה (איור 4ה, 4ו). הצפיפות הגבוהה ביותר של העצים הפולשים נרשמה במרכז היער (איור 4א), אזור שעומד צפוף של שיטת ויקטוריה בלט בו במיוחד (איור 4ו). מנגד, רמת הבידוד של מוקדי הפלישה (איור 4ב) עלתה ככל שגדל המרחק מליבת היער אל שוליו, בצפון ובדרום, דפוס המצביע על עדיפות יחסית לטיפול במוקדים היקפיים

ציון העדיפות לכל תצפית בהתאם לנוסחה 1, והערכים שהתקבלו הוצגו כמפת עדיפות מרחבית בסיווג צבעים מדורג, לצורך זיהוי האזורים שמצריכים קדימות טיפולית גבוהה.

תוצאות: יער מנחמיה כחקר מקרה

העצים הפולשים הדומיננטיים ביער מנחמיה כללו את המינים שיטה כחלחלה, שיטת עלי-ערבה, שיטת ויקטוריה ופרקינסוניה שיכנית, והמין הדומיננטי ביותר מביניהם הוא



ב



א



ד



ג



ו



ה

איור 4

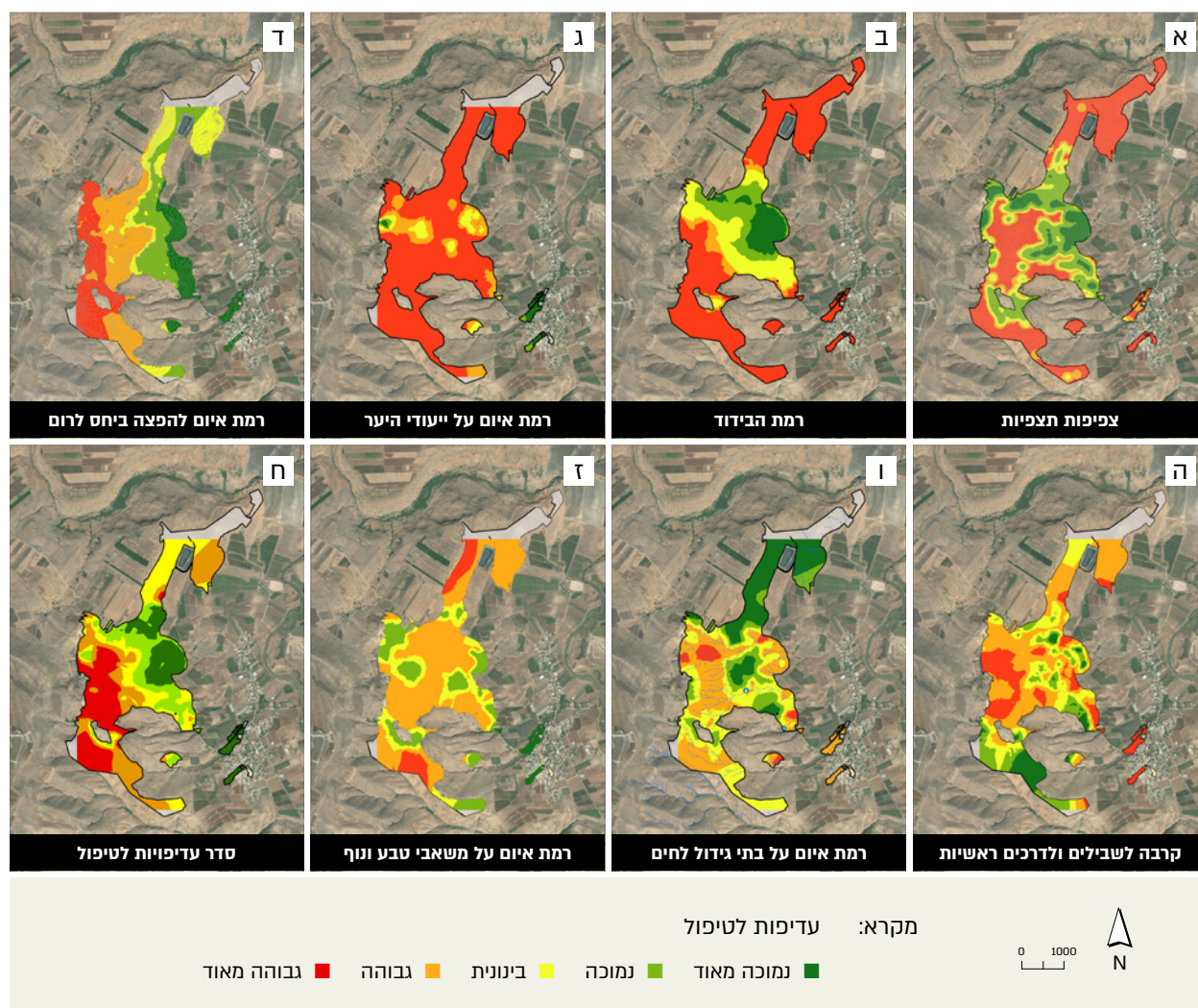
מראה הצמחים הפולשים בנוף ודגמי הפיזור שלהם ביער מנחמיה

א. דגם נקודתי של שיטת ויקטוריה בנוף רכס איילות בחלקות המערבי של היער; ב. דגם התפשטות קווי של פרקינסוניה שיכנית לאורך ערוץ נחל המשתפל ממעלה היער מזרחה לשדות החקלאיים של מנחמיה; ג. ד. דגם פזור של שיטת עלי ערבה בצפיפות בינונית במרכז היער; ה. דגם פזור של שיטת ויקטוריה במדרונות המתפתלים דרומה (לכיוון מצפה נוח) ומזרחה לעמק הירדן; ו. דגם פזור וצפוף של שיטת ויקטוריה במרכז היער. התמונות צולמו בחורף (נוף עשבוני ירוק) ובקיץ (נוף עשבוני זהוב) בשנת 2025, מרחפן AVATA. צילום: עודד כהן.

של חשיבות לטיפול, ובעיקר בשוליים הדרומיים והצפוניים, המאופיינים בנוף ערבות עשבוני (איור 5). לעומת זאת, הקריטריונים של הזמן שחלף מאז השרפה האחרונה והקרבה למקורות הפצה לא נמצאו רלוונטיים במקרה של יער מנחמיה. מממצאי המודל המשוקלל, המוצגים באיור 5, עולה שהחשיבות הגבוהה ביותר לטיפול התקבלה בשוליו המערביים של היער, לאורך הגבול עם שמורת איילות.

תוצרי המודל (איור 5) הועברו לבחינה ולקבלת משוב באגף הייעור של קק"ל. היערכים ומהנדסי היער בחנו את תוצרי המודל הלכה למעשה בשטח ואת הפוטנציאל לתרגם את

לעומת מוקדים המצויים בליבת היער. השילוב בין תפוצת המינים הפולשים לבין ייעודי היער הצביע על חשיבות גבוהה מאוד לטיפול ברוב שטחי היער (איור 5). בהתאם למבנה הטופוגרפי של יער מנחמיה, המשתפל מזרחה, נצפתה ירידה ברמת האיום להפצה עם הירידה במפל הרום (איור 5). הקרבה לשבילים ולדרכים ראשיות תרמה להעלאת ערכי העדיפות בליבת היער, המאופיינת ברשת שבילים צפופה יותר (איור 5). בהקשר של שמירה על בתי גידול לחים, ערכי עדיפות גבוהים לטיפול זהו בסביבת עין אלות ובערוצי הנחל הסמוכים לו (איור 5). באשר למשאבי טבע ונוף, מרבית שטח היער סווג ברמה גבוהה או גבוהה מאוד



איור 5

מיפוי הקריטריונים לקביעת סדר העדיפויות (א-ז) לטיפול בצמחים פולשים ביער מנחמיה והתוצר המשוקלל הסופי (ח)
 א. רמת ישימות ביחס לצפיפות תצפיות לדונם; ב. רמת בידוד ביחס למוקדי פלישה נוספים; ג. רמת האיום על ייעודי היער; ד. רמת האיום להפצה ביחס לרום הטופוגרפי; ה. קרבה לשבילים ולדרכים ראשיות; ו. רמת האיום על בתי גידול לחים; ז. רמת האיום על משאבי טבע ונוף; ח. סדר העדיפויות לטיפול בצמחים פולשים ביער מנחמיה – תוצאות המודל המשוקלל. רמת החשיבות לטיפול עולה עם המדרג היחסי לכלל הקריטריונים. הקריטריונים של ייעודי היער, קרבה לשבילים, בתי גידול לחים ומשאבי טבע ונוף נקבעו על בסיס שילוב תכונות המינים הפולשים ותכונות בתי הגידול. מפות: דפנה שלף.

המחקר העתידי מתמקד בפיתוח פלטפורמת ניהול דינמית בזמן אמת, שתשלב בין עדכון שוטף של נתוני תצפיות מהשטח לבין המודל שפותח. פלטפורמה זו תאפשר דיווח שדה מיידי באמצעות מערכות קיימות, תוך סנכרון אוטומטי עם מפת סדרי הקדימויות לטיפול. המערכת המוצעת צפויה לשמש כלי אינטגרטיבי לניהול הצמחים הפולשים, ותכלול שני רכיבים מרכזיים: האחד, מנגנון איסוף ועדכון נתונים בזמן אמת, המבוסס על דיווחים של אנשי מקצוע והציבור, שיאפשר יצירת תמונת מצב עדכנית של מוקדי הפלישה; השני, מנגנון מיטוב מבוסס אלגוריתמים, שינתח את הנתונים תוך התחשבות בפוטנציאל ההתפשטות, ברגישות האקולוגית, בעלויות הטיפול וביעדי היער, ויתרגם אותם לסדר עדיפויות דינמי של פעולות ניהול. גישה זו צפויה להרחיב את יכולות המודל ממערכת סטטית יחסית לכלי אדפטיבי ודינמי, התומך בקבלת החלטות מבוססת נתונים לאורך זמן, ומשפר את היעילות והאפקטיביות של ניהול הצמחים הפולשים ביערות קק"ל.

המודל הנוכחי מגלם בתוכו מדדים סובייקטיביים הקשורים לשימור ייעודי היער; עם זאת, באמצעות התאמה של משקלי המדדים ניתן להסב אותו כך שישירת מטרות שונות, החל בשמירת המגוון הביולוגי בשטחים פתוחים, וכלה בשמירה על היצרנות של מערכות חקלאיות. אף על פי שהספרות מדגישה, ובצדק, את חשיבותו של איתור מוקדם ושל טיפול מהיר בשלבי הפלישה הראשוניים, אין בכך כדי ללמד כי במקרים של פלישה ותיקה ומבוססת אבדה היכולת לפעול באופן יעיל. בפועל, חלק ניכר מן הפלישות שעלינו להתמודד איתן כיום בישראל מקורן בעצים ובשיחים שהובאו לארץ לפני עשרות שנים, ומאז התבססו והתפשטו במרחב. המודל המרחבי המוצג כאן מדגים כי גם במציאות זו ניתן לנסח אסטרטגיית התערבות אפקטיבית, המבוססת על קביעה מושכלת של סדר עדיפויות למוקדי הטיפול, ובכך להציע מענה ניהולי מעשי לא רק לפלישות חדשות, אלא גם לפלישות ותיקות ומבוססות בנופי היער והשטחים הפתוחים בישראל.

תודות

תודה לקק"ל על התמיכה במחקר, בייחוד לאגף הייעור, ובפרט לד"ר שני רהטין-בליץ על הסיוע הלוגיסטי. תודה ליערנים ולמהנדסי היער איתמר כץ, מאור רפאל, מיכאל ספרינצין, חן קראו ודר דרור על המשובים המקצועיים ועל התמיכה בסקרים בשטח. מחקר זה הוא פרי תהליך חשיבה משותף של אגף הייעור, אנשי השטח והאקדמיה גם יחד, וללא שיתוף פעולה זה לא היה יוצא אל הפועל.

התוצר הסופי לתוכנית עבודה רב-שנתית. בעקבות בחינה זו בוצעו במפה הסופית של סדרי העדיפות לטיפול שינויים קטנים, שביטאו בעיקר צרכים מקומיים הקשורים להגנה על שטחי נטיעה ולמתן העדפה לשטחים שטופלו בשנים קודמות. תוצאה זו עולה בקנה אחד עם מסקנות הדיונים המקצועיים שנערכו בין צוותי העבודה, אגף הייעור, היערנים ומהנדסי היער, שאיששו את ההיגיון הממשקי שעמד בבסיס תהליך השקלול, ומשקפת איזון בין שיקולי ישימות, בלימת התפשטות ושימור תפקודי היער. התוצר הסופי של המודל שימש בבסיס לגיבוש תוכניות עבודה שנתיות ורב-שנתיות לטיפול בצמחים הפולשים ביער מנחמיה.

דיון והמשך מחקר

בעוד שמודלים רבים שפותחו בעולם לקביעת סדר עדיפויות לטיפול בצמחים פולשים התמקדו בעיקר ברמת האיום של המין הפולש וברגישות בית הגידול (Forner et al., 2022), הגישה שפותחה כאן מדגישה גם שלושה רכיבים מרכזיים נוספים: ישימות ממשקית, פוטנציאל לבלימת ההתפשטות ושמירה על תפקודי היער ועל ייעודיו. על בסיס תפיסה זו פותחה מסגרת אנליטית המשלבת בין מאפייני המינים הפולשים לבין ההקשר המרחבי והניהולי שהם פועלים בו. שילוב זה מאפשר לעבור מהערכה כללית של סיכון ביולוגי לתעודף מרחבי ממוקד, המדגיש לא רק היכן מצויה הפלישה, אלא היכן ההתערבות צפויה להיות היעילה והמשתלמת ביותר מבחינה ניהולית. מרכיב חשוב בפיתוח המודל היה הליווי הרציף של אגף היער, היערנים ומהנדסי היער, שתרמו לגיבוש הקריטריונים, לבחינת הרציונל העומד בבסיסם ולתיקופם אל מול צורכי הממשק בשטח. מעורבות זו חיזקה את הזיקה בין ההליך האנליטי לבין צורכי קבלת ההחלטות בפועל, וסייעה לעצב כלי שאינו רק תקף מבחינה רעיונית, אלא גם רלוונטי, ישים ומכוון לשימוש מעשי במסגרת תכנון העבודה השנתית והרב-שנתית. בכך מציע המודל תשתית מעשית לגיבוש סדרי עדיפויות לטיפול בצמחים פולשים ביערות, תוך הכוונת המשאבים אל מוקדים שהתועלת צפויה להיות בהם מרבית מבחינת דיכוי הפלישה, בלימת התפשטותה ושמירה על שירותי היער וערכיו.

תהליך המחקר הדגיש את החשיבות הרבה של מתודולוגיית ניטור שיטתית, הכוללת איסוף מידע כמותי, עדכני ואחיד, והפעלת המודל על בסיס נתונים המתעדכנים באופן רציף. ברור כי ניטור היערות אינו מסתיים במסגרת מחקר זה, וכי לצורך יישום יעיל ומתמשך נדרש פיתוח פרוטוקול ניטור מוסדר, שיהיה זמין ואחיד לכלל היערנים, מהנדסי היער ואף לגורמים נוספים המעורבים בניהול השטח. בהמשך לכך, כיוון

מקורות

- Lampert A and Liebhold AM. 2023. Optimizing the use of suppression zones for containment of invasive species. *Ecological Applications*, 33(2), e2797.
- Langmaier M and Lapin K. 2020. A systematic review of the impact of invasive alien plants on forest regeneration in European temperate forests. *Frontiers in Plant Science*, 11, 524969.
- Lázaro-Lobo A, Alonso Á, Fernández RD, Granda E, Romero-Blanco A, Saldaña-López A, et al. 2023. Impacts of plant invasions on ecosystem functionality: A perspective for ecosystem health and ecosystem services. In: Tripathi S, Bhadouria R, Srivastava P, Singh R, and Batish DR (Eds). *Plant Invasions and Global Climate Change*. Springer. pp. 31–56.
- Le Maitre DC, Gaertner M, Marchante E, Ens EJ, Holmes PM, et al. 2011. Impacts of invasive Australian acacias: Implications for management and restoration. *Diversity and Distributions*, 17(5), 1015–1029.
- Lopez TA, Campero CM, Chayer R, Cosentino B, and Caracino M. 1996. Experimental toxicity of *Verbesina encelioides* in sheep and isolation of galegine. *Veterinary and Human Toxicology*, 38(6), 417–419.
- Moody ME and Mack RN. 1988. Controlling the spread of plant invasions: The importance of nascent foci. *Journal of Applied Ecology*, 25, 1009–1021.
- Potgieter LJ, Gaertner M, Kueffer C, and Richardson DM. 2022. Prioritizing terrestrial invasive alien plant species for management in urban ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 59(3), 2823–2835.
- Prenzel F, Treudler R, Lipek T, Vom Hove M, Kage P, Kuhs S, et al. 2022. Invasive growth of *Ailanthus altissima* trees is associated with a high rate of sensitization in atopic patients. *Journal of Asthma and Allergy*, 15, 1217–1226.
- Randall JM, Morse LE, Benton N, Hiebert R, Lu S, and Killeffer T. 2008. The invasive species assessment protocol: A tool for creating regional and national lists of invasive nonnative plants that negatively impact biodiversity. *Invasive Plant Science and Management*, 1(1), 36–49.
- Schiffleithner V and Essl F. 2016. Is it worth the effort? Spread and management success of invasive alien plant species in a Central European National Park. *NeoBiota*, 31, 43–61.
- Soler J and Izquierdo J. 2024. The invasive *Ailanthus altissima*: A biology, ecology, and control review. *Plants*, 13(7), 931.
- van Klinken RD, Campbell SD, Heard TA, McKenzie J, and March N. 2009. The biology of Australian weeds: 54. 'Parkinsonia aculeata' L. *Plant Protection Quarterly*, 24(3), 100–117.
- von der Lippe M and Kowarik I. 2007. Long-distance dispersal of plants by vehicles as a driver of plant invasions. *Conservation Biology*, 21(4), 986–996.
- Yair Y, Sibony M, Goldberg A, Confino-Cohen R, Rubin B, and Shahar E. 2019. Ragweed species (*Ambrosia* spp.) in Israel: Distribution and allergenicity. *Aerobiologia*, 35(1), 85–95.
- Ziller SR, de Sá Dechoum M, Silveira RAD, da Rosa HM, Motta MS, de Silva MS, et al. 2020. A priority-setting scheme for the management of invasive non-native species in protected areas. *NeoBiota*, 62, 591–606.
- אבישר א, מרכוס ת ולבנני ט. 2021. ביעור חמציץ נטוי – מין פולש בשטחים טבעיים וטבעיים למחצה: ממצאים ראשוניים מהשרון. **אקולוגיה וסביבה**, 12(4).
- אסם י, ברנד ד, טאובר י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. **תורת ניהול היער בישראל: מדיניות והנחיות לתכנון ולמשק היער (מהדורה ראשונה)**. קרן קימת לישראל.
- בטרם. 2026. **צמחים רעילים**. נצפה בתאריך 3 במאי, 2026. <https://beterem.org/רעילים/צמחים/>
- פורת י וגלייטמן ש. 2024. **עקרונות לבלימת התפשטות צמחים פולשים במקרקעי הייעור ע"פ תפיסת תורת ניהול היער**. אגף הייעור, קק"ל.
- כהן ע וקופלר ע. 2022. **קביעת סדר קדימויות לממשק אזורי של צמחים פולשים באגן הניקוז של הירדן הדרומי** (עריכה: קמחי-אנגרט ע). רשות ניקוז ונחלים ירדן דרומי ורשות הטבע והגנים.
- כהן ע, קופלר ע, פורת י, גלייטמן ש, פריד מ, שיפמן א ואח'. 2020. **בלמת התפשטות הצמח הפולש שיטה כחלחלה בגן לאומי הרי יהודה**. יער, 19–6, 21.
- Arianoutsou M, Delipetrou P, Vila M, Dimitrakopoulos PG, Celesti-Grapowet, Wardell-Johnson L, et al. 2013. Comparative patterns of plant invasions in the Mediterranean biome. *PLoS One*, 8(11), e79174.
- Ayanda OI, Ajayi T, and Asuwaju FP. 2020. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms: Uses, challenges, threats, and prospects. *The Scientific World Journal*, 2020, 3452172.
- Cohen O and Ram Y. 2015. Tourism is not only the vector of biological invasion but also the victim: Evidence from Israel. *Tourism Recreation Research*, 40(3), 407–410.
- Courtois P, Figuieres C, Mulier C, and Weill J. 2018. A cost–benefit approach for prioritizing invasive species. *Ecological Economics*, 146, 607–620.
- Darin GMS, Schoenig S, Barney JN, Panetta FD, and DiTomaso JM. 2011. WHIPPET: A novel tool for prioritizing invasive plant populations for regional eradication. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 131–139.
- Devine K and Fei S. 2011. A review of impacts by invasive exotic plants on forest ecosystem services. In: Fei S, Lhotka JM, Stringer JW, Gottschalk KW, and Miller GW (Eds). *Proceedings of the 17th Central Hardwood Forest Conference* (Gen. Tech. Rep. NRS-P-78, pp. 425–435). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.
- Eppinga MB, Baudena M, Haber EA, Rietkerk M, Wassen MJ, and Santos MJ. 2021. Spatially explicit removal strategies increase the efficiency of invasive plant species control. *Ecological Applications*, 31(3), e02257.
- EPPO/OEPP. 2012. EPPO prioritization process for invasive alien plants. *OEPP/EPPO Bulletin*, 42, 463–474.
- Forner WG, Zalba SM, and Guadagnin DL. 2011. Methods for prioritizing invasive plants in protected areas: A systematic review. *Natural Areas Journal*, 42, 69–78.
- Jones VL and Grenz J. 2023. A review of the impacts and management of invasive plants in forestry. *CABI Reviews*, 2023, 0034.
- Keeley JE. 2006. Fire management impacts on invasive plants in the western United States. *Conservation Biology*, 20(2), 375–384.
- Kerr NZ, Baxter PW, Salguero-Gómez R, Wardle GM, and Buckley YM. 2016. Prioritizing management actions for invasive populations using cost, efficacy, demography and expert opinion for 14 plant species world-wide. *Journal of Applied Ecology*, 53(2), 305–316.

שירותי המערכת האקולוגית – מה בינם לבין מגוון ביולוגי ושמירת טבע?

יהושע שקדי

לשעבר המדען הראשי ברשות הטבע והגנים
shkedy@gmail.com

השימור נמצאים בקונפליקט עם ערכים לגיטימיים אחרים של הארגון, כמו הנגשה רחבה יותר של הטבע לציבור. החיפוש אחר שפה שתהיה נהירה לכול, ותבהיר מדוע שמירת הטבע צריכה להיות אינטרס מוביל, הוא ארוך. לעיתים נכנסים לעולם המושגים שלנו מושגים חדשים, והתקווה היא שהמושג החדש הוא זה שיפתור את בעיות השפה והתקשורת בין שומרי הטבע לבין "מקבלי החלטות", ויפטור אותנו מהתסכול הזה.

בפתיחת הדברים ראוי להגדיר את מטרות שמירת הטבע. המטרה המרכזית של שמירת הטבע היא לשמור על המינים המקומיים, בבתי גידול טבעיים, בנופים הטבעיים ובמערכות אקולוגיות מתפקדות. כל מושג בהגדרה הזו יכול וצריך לפתח דיון. אבל אינטואיטיבית זו הגדרה שווה לכל נפש, והיא תשמש אותי במאמר זה. להבנתי, זו הגדרה גלובלית, והיא נכונה גם לישראל, ועל כן ניהלתי ברוח זו את הצד המקצועי של שמירת הטבע במשך כל שנות כהונתי כמדען ראשי.

אין ספק שהטבע מעניק לאדם שירותים משמעותיים שיש להם ערך כלכלי ותרבותי: בחוויה בטיול ובתצפית על נוף, באספקה של חמצן לאטמוספירה, במים לשתייה, בעצים לתעשיית העץ ועוד. בכל אלה הבחינו מייסדי ענף הפילוסופיה של שמירת הטבע, שהבולטים שבהם לטעמי הם Muir, Emerson, Thoreau, Leopold ו-Pinchot. האחרון כיוון לשימוש מושכל במשאבים, כך שניצול הטבע היום לא יפגע ביכולת של האדם לנצל אותו בעתיד. אין גם ספק שאפשר להשתמש בטיעונים של שירותי המערכת האקולוגית כדי לתמוך בשמירת הטבע. אולם, להבנתי, שירותי המערכת האקולוגית הם חרב פיפיות, משום ששימוש לא מושכל במושג הזה עלול לפגוע בטבע.

כל שומר טבע חווה לעיתים מזומנות תסכול רב, כשבני שיחו לא מבינים ששמירת הטבע צריכה להיות גם נחלתם. בני השיח יכולים להיות פוליטיקאים, פקידים בכירים, חברי ועדות תכנון וראשי מועצות אזוריות ומקומיות. במקרים מסוימים הם גם מנכ"לים של ארגוני שמירת טבע, כשמאמצי

את טמפרטורת הסביבה ונחסוך בהוצאות למיזוג אוויר. אם נצמצם כריתת עצים – נצמצם פליטת פחמן דו-חמצני לאטמוספירה. אם נשמור על שטח לא בנוי – נפתח מרחב לטיילות וליצירת אומנות בטבע, וכך נשפר את המצב הכלכלי והרוחני של האוכלוסייה. לכל סוגי התועלת הללו ניתן להצמיד תג מחיר כלכלי, ולהבנתי בכולם יש טעם רב! אני מפנה את תשומת הלב לאיור 2 במאמר המצוין של שגיא ואורנשטיין בגיליון זה (עמ' 5–15). באיור מובאות דוגמאות לשימושים שנעשו במונח שירותי המערכת האקולוגית בפרסומים שונים של גופים הקשורים לשמירת טבע בארץ.

אני מבקש להתחיל באמירה של קק"ל שהיא ברורה ומדויקת – "ניהול יער מוכוון אספקת שירותי מערכת אקולוגית". זוהי אמירה קצרה וברורה המתארת את פעולות קק"ל, ומופיעה גם בתורת ניהול היער (אסם ואח', 2014): "מטרת העל של מפעל הייעור בישראל היא אספקת מגוון שירותי מערכת אקולוגית לתושבי הארץ". היערות מספקים אתרים לנופש בחיק הטבע ומסלולים לרוכבי אופניים, והעצים קולטים פחמן דו-חמצני מהאוויר. אלה כולם שירותי מערכת מרשימים. אפשר להוסיף לכך שיערות קק"ל משמשים בית גידול למינים רבים בסכנת הכחדה, בעיקר צמחים, וזה שירות מערכת הנוגע לשמירת טבע. אבל רוב החלקים האחרים באיור הזה רוויים בסיסמאות שפשרן לא תמיד ברור.

רט"ג מצהירה שהרציונל של שמירת הטבע בימינו הוא שמירה על מערכות אקולוגיות ושירותיהן לעומת שמירה על מיני דגל. האומנם? יתכבדו אנשי רט"ג ויסבירו איך הם שומרים על מערכות אקולוגיות ועל שירותיהן. אני מוכן לעבור מערכת אחר מערכת בישראל ולהוכיח שרט"ג אינה פועלת כך ברוב המערכות. יתרה מכך, שמירה על מיני דגל הייתה תמיד אמצעי לשמור על שטחים נרחבים יותר ועל מערכות אקולוגיות, ולא על מין הדגל עצמו. לכן, האמירה של רט"ג היא סתמית.

המשרד להגנת הסביבה מצהיר שהוא שומר על שטחים פתוחים שמספקים שירותי מערכת אקולוגית. האם המשרד אינו שומר על שטחים פתוחים שאינם מספקים שירותי מערכת אקולוגית? האם יש בכלל שטחים פתוחים שאינם מספקים שירותי מערכת אקולוגית? כנראה שלא, ולכן גם הצהרת המשרד להגנת הסביבה סתמית.

משרד החקלאות טוען שהחקלאות נעזרת במגוון "שירותים" של מערכות אקולוגיות, ושיש לשמירה על המערכות האקולוגיות חשיבות רבה. לדאבוני נתקשה מאוד למצוא מערכות אקולוגיות שמשרד החקלאות מגן עליהן בכלל, ומשיקולים של שירותי המערכת האקולוגית בפרט. אולי ניתן למצוא דוגמאות מתאימות, אך אני משוכנע שזה איננו הקו המנחה. יתר על כן, משרד החקלאות מעכב חקיקה לטיפול במינים פולשים כבר למעלה מעשור, ואין ספק

בשליש האחרון של המאה ה-20 התפרץ לחיינו בעוצמה המושג מגוון ביולוגי. זהו אחד המושגים המשפיעים ביותר בפוליטיקה של השמירה על העולם מפני ההשפעה ההרסנית של האדם. האו"ם הכריז על אמנת המגוון הביולוגי (לאחר האמנה: <https://www.cbd.int>), נקבעו לאמנה מטרות ברורות, ויש לה השפעה על שמירת המגוון הביולוגי בעולם. לטעמי, הקצאת ערך סף של 30% מכל מדינה לשמירת טבע היא המטרה המרכזית והחשובה ביותר. האמנה מחייבת, לפחות לכאורה, את מקבלי ההחלטות לתת לשימור המגוון הביולוגי משקל.

ישראל חתמה על אמנת המגוון הביולוגי ואשררה אותה, ובהתאם להנחיות האמנה התחלנו לקדם בשנת 2003 תוכנית לאומית למגוון הביולוגי בישראל. עם זאת, עברו עוד שבע שנים (!) עד שהמשרד להגנת הסביבה פרסם את התוכנית, ללא מטרות מוגדרות וברורות, ללא לוחות זמנים וללא תקציב (המשרד להגנת הסביבה, 2010). רק יותר מעשור לאחר מכן פרסם המשרד להגנת הסביבה תוכנית עם יעדים ברורים, עם לוחות זמנים ועם יעדים תקציביים – אך עדיין ללא תקציב. בינתיים שמירת הטבע בישראל מתקיימת על פי ההנחיות בפרק שנכתב כבר בשנת 2003 בשותפות עם רשות הטבע והגנים (רט"ג), עם תיקונים עקרוניים שהתאימו את הפעולות לרוח הזמן. כלומר, שמירת הטבע התנהלה ומתנהלת גם בלי תוכנית לאומית.

אלה שטבעו את המושג מגוון ביולוגי וקידמו את האמנה, עשו זאת כי חשבו שזו הדרך הנכונה שתאפשר לשכנע את "מקבלי ההחלטות", בכל העולם וגם בישראל, בחשיבות השמירה על הטבע. מקבלי ההחלטות בישראל, שחלק מהם צמחו בקהילה הירוקה, התחמקו בשלל טיעונים. הטיעון המגוחך ביותר היה שהמושג לא קליט. באופן דומה, גם המושג שירותי המערכת האקולוגית נועד לשכנע מקבלי החלטות בחשיבות הטבע, בהנחה שברגע שיבינו ששמירה על שירותי המערכת האקולוגית תורמת לאדם, הם יעשו את "המעשה הנכון". פרוץ ספריאל, שקידם בישראל את המושג שירותי המערכת האקולוגית, ניסה לגייס את רט"ג לתהליך, וטען באוזניי (הציטוט הוא מהזיכרון אך הוא מדויק למדי): "... אתם נכשלים בשמירת הטבע כי אתם לא מעודכנים, אתם שומרים על ה-intrinsic value ולא מבינים שמקבלי ההחלטות יבינו רק אם נדבר בשפה המובנת להם – שירותי המערכת האקולוגית. ומה מבינים מקבלי ההחלטות? כסף".

חלק ניכר מהטיפול בשירותי המערכת הוא ליצור הוכחות לתועלת הכלכלית של שמירת העולם מפני עוצמת הפיתוח האנושי, משום שדווקא השמירה על שירותי המערכת חוסכת כסף. אם נשמור על מין נדיר – אולי יש בו מרכיבים שיהוו בעתיד תרופה. אם נשמור על שטח ירוק – נוריד

נלווים משלמים ארנונה מכובדת) ולמשק הישראלי (הכנסה במטבע חוץ). החורשות מטבען מספקות שירות מערכת לאזרחים שיבואו לטייל בהן. ההכנסות לתיירים במקום אולי יהיו מכובדות, אך סך השירותים יהיה דל בהשוואה לחקלאות חממות. לטענה שיש בשימור החורשות ערך תרבותי נכבד, אשיב בטענה שיש רבים הרואים דווקא בחקלאות בערבה ערך תרבותי (ציונות) נשגב. כלומר, שיקולי שירותי המערכת האקולוגית יובילו אותנו לקראת התמרה של מערכת אקולוגית טבעית למערכת אקולוגית חקלאית. התמרה של מערכות טבעיות בכלל והתמרה למערכות חקלאיות בפרט, מקובלת מאוד בין אנשי "שירותי המערכת". אבל, ההתמרות האלה פוגעות לעיתים בלב-ליבה של שמירת הטבע – בשמירה על מערכות טבעיות מתפקדות בנופי הארץ הטבעיים.

הדוגמה המטרידה ביותר היא דווקא זו שלשמחתי רק עומדת בפתח. הניסיון להעריך את השווי הכספי של ערכי טבע תופס תאוצה בעולם, וגם בארץ היו מספר ניסיונות כאלה, בעיקר לאחר אסונות סביבתיים, כמו פריצת הנפט בשמורת עברונה והזיהום בנחל אשלים (בקר, 2018; בקר ואח', 2018). המטרה היא לאלץ את הגורם המזהם לשלם סכום נכבד בהתאם לנזק שגרם. פגיעה באוכלוסיית צבאים או נשרים, שלהם ערך ניכר, מאחר שהציבור מעניק למינים האלה ערך רב, תגרו קנס גבוה. אולם מה יקרה אם המינים שנפגעו יהיו מפורסמים ואהובים פחות? למשל, אם יזם יפגע בנחל מדברי ויחסל את החיים בגבי המים בנחל. בכמה נעריך את השווי של חסרי החוליות המאכלסים את הגבים? ברט"ג הציעו במקום לחשב את ערכו של כל ערך טבע (וברור שאי אפשר לעשות זאת בצורה אובייקטיבית) לחשב את עלות השימור של ערכי הטבע, ולהעריך כך את מידת הנזק (לידר ומליחי, 2023). כשסוכמים את עלות פעולות רט"ג מגיעים לסכומים נכבדים שמחושבים באופן ריאלי! אולם מה יקרה אם יזם ידרוש להקים מיזם רווחי, ויטען שהוא מוכן לפצות ולשלם מראש על כל ערכי הטבע שיפגע בהם? אם הוא יוכיח שהפרויקט ייצור שירותי מערכת אקולוגית שיהיו גדולים ביותר? למשל, אם בפרויקט יתפילו מי תהום מליחים ויספק מים שפירים, אם הפרויקט יכיל גן בוטני שיישמרו בו כל המינים האופייניים לאזור ובייחוד המינים הנדירים, אם המיזם יפתח אתרים שהמבקרים יוכלו ליצור בהם אומנות בטבע ויכלול גם גרעין רבייה, או אם הפרויקט יכלול אתר השבה ליונק נדיר שרט"ג מעוניינת בהשבתו – מי יוכל להתנגד לפרויקט כזה, גם אם בתהליך ייפגעו נשרים, צבאים ויעלים?

בפסקה הראשונה כתבתי שאין ספק שהטבע מעניק שירותים אקולוגיים, ואין ספק שאפשר להשתמש בטיעוני שירותי המערכת האקולוגית כדי לתמוך בשמירת הטבע.

שהפגיעה שלהם בטבע ובשירותים שהטבע מעניק היא גדולה. גם הצהרת משרד החקלאות סתמית.

האמירות הללו מציבות לדעתי סימן שאלה סביב המושג שירותי המערכת האקולוגית וסביב השימוש בו, אך אין בהן נזק. הנקודה המרכזית שמטרידה את מנוחתי בנושא שירותי המערכת האקולוגית היא שההתמקדות בהם עלולה לגרום לנזק לשמירת הטבע. להלן מספר דוגמאות מתוך אירועים שליוו אותי בדרכי המקצועית ב-30 השנים האחרונות. הדוגמה שזכתי לפרסום רחב ביותר היא נטיעות קק"ל בצפון הנגב. שגיא ואורנשטיין (בגיליון זה) כותבים ש"פרויקט TEEB [הכלכלה של מערכות אקולוגיות ומגוון ביולוגי] הדגיש במיוחד את המחיר הכבד שהמערכות האקולוגיות משלמות בעקבות מדיניות ציבורית וממשלתית המובילה לאובדן מגוון המינים, וקידם את השיח על הצורך לשקלל את תרומתן של מערכות אקולוגיות בתהליכי קבלת החלטות (TEEB, 2010)". קק"ל טוענת שהנטיעות בצפון הנגב שומרות על הקרקע מפני סחיפה. עם זאת, אין עוררין על כך שהנטיעות משנות את הרכב המינים בצפון הנגב. מינים מדבריים נעלמים, ובמקומם מגיעים מינים ים תיכוניים כוללניים (ג'נרליסטיים). לכאורה, זהו שירות מערכת חיובי, כי מספר המינים גדל – אבל הגדלת מספר המינים אינה מטרה של שמירת טבע. גם אם הנטיעות מספקות שירות מערכת חשוב (מניעת סחיפת קרקע) הן פוגעות בטבע (מינים מקומיים מוחלפים במינים מבתי גידול אחרים, והנוף המדברי מוחלף בנוף ים תיכוני שתפוצתו הטבעית שונה). זו פגיעה בשמירת טבע, משום שאנחנו לא שומרים על המינים המקומיים במערכות אקולוגיות טבעיות המתפקדות היטב, ובוודאי שאיננו שומרים על הנוף הטבעי, אלא מתמירים אותו בנוף מעשה ידי אדם. שמירה על שירות אחד של המערכת האקולוגית מביאה לפגיעה מהותית בטבע, ממש בניגוד לרוח הדברים בפרויקט TEEB. להבנתי, שירותי המערכת האקולוגית במקרה זה פוגעים בטבע!

דוגמה נוספת היא בירוא יערות שיטים בערבה והפיכתם לשטחים חקלאיים שיש בהם חממות. הכול על פי התוכניות המאושרות, אותן אלה שפרויקט TEEB מורה לנו להתמודד איתן. הפעולות הללו גורמות לפגיעה בעצי שיטה רבים, על המינים המייחדים אותם. כשניסינו לטעון שיש בפעולות האלה פגיעה חמורה באוכלוסיית חרדון הצב, התקומם ראש המועצה האזורית ושאל "אתם ברצינות רוצים לעכב פיתוח חקלאי שיגרום לפריחה של יישובים בגלל לטאה"? ראוי להתעכב על תשובת ראש המועצה. אם בוחנים את הרווח הכלכלי מחורשות עצי השיטה, ברור שהתנובה הכלכלית היעילה ביותר היא הפיכתן לשדות חממות המניבות תוצרת חקלאית שאפשר לשווק אותה בארץ ובעולם. הרווח הכלכלי גדול מאוד, לחקלאים, למועצות האזוריות (מפעלים

הנרחבים, שמתקיימות בהם מערכות אקולוגיות טבעיות שכוללות את המינים המאפיינים את ישראל בנופי ארץ ישראל, ראוי שלא לחפש את שירותי המערכת האקולוגית. ראוי להתמקד בשימור המינים המקומיים במערכות מקומיות מתפקדות בנופים המקומיים. יתר על כן, בנושאי שמירת טבע, יש להימנע משימוש במדד כספי להערכת הטבע – זה פשוט מסוכן.

בפסקה קודמת אני מזהיר מפני השימוש במושג שיכול לפגוע בטבע. אז איך אפשר ליישב את הסתירה? צריך להבין היכן נכון להשתמש במושג הזה. אם ראש עיר יציע לבנות גנים ציבוריים, יקדם נטיעה של עצים רבים, יקדם שמירה על טבע עירוני, ויקרא לכל אלה שמירה על שירותי המערכת האקולוגית, זה נפלא, וזו אפילו שמירה על הטבע, לפחות נקודתית. אולם בכל מה שקשור לשטחים הפתוחים

מקורות

TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB*.

אסם, ברנד, טאובר, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. **תורת ניהול היער בישראל: מדיניות והנחיות לתכנון ולמשק יער**. ירושלים: אגף הייעור ויחידת הפרסומים, קשרי ציבור, קק"ל.

בקר נ. 2018. **ערכו הכספי של צבי ארצישראלי**. דו"ח לרשות הטבע והגנים. בקר נ, לביא ד, גרוס י וקרביצ'נקו מ. 2018. **הערכת הנזק הכלכלי בשמורת עברונה כתוצאה מהזיהום שאירע בדצמבר 2014**. דו"ח למשרד להגנת הסביבה. המשרד להגנת הסביבה. 2010. **התכנית הלאומית למגוון ביולוגי בישראל**. אשכול מדיניות ותכנון, אגף שטחים פתוחים ומגוון ביולוגי, המשרד להגנת הסביבה. https://www.gov.il/BlobFolder/reports/israel/biodiversity_national_plan/he/biodiversity_p0540.pdf



צבי ישראלי ביער חורשים
צילום: בוני שיינמן, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

התייבשות עצים ביערות

תמונת מצב ומתווה לפעולה

גלעד אוסטרובסקי^{1*} | חנוך צורף¹ | שני רוהטין-בליץ¹ | שילי דור-חיים¹
מור אשכנזי¹ | יגיל אסם²

1 אגף הייעור, קק"ל
2 המחלקה למשאבי טבע, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
* gilado@kkl.org.il

מבוא

הצומח (Normalized Difference Vegetation) NDVI הראה ירידה ניכרת בכיסוי הצומח ביחס לשיא הצימוח האופייני ביערות "ספר המדבר" (כדוגמת יער יתיר, כרמים ולהב) וכן בחבל הים תיכוני (יער צרעה, יער הקדושים).

החל מקיץ 2025 אנו עדים לתופעה הולכת וגוברת של התייבשות עצים ביערות, בעיקר עצי אורן בוגרים, בהיקפים נרחבים וחסרי תקדים. עיקר התופעה באזור הדרום (איור 1), אולם במידה הולכת וגוברת היא נצפית גם ביערות המרכז. מיפוי היערות המחטניים בחישה מרחוק במדד

איור 1

התייבשות אורנים ביער כרמים בדרום הארץ, 2025
צילום: מאיה מלאת



תוצרי חישה מרחוק מתצלומי לוויין, שעדיין צריכים לעבור כיוול ואימות.

להלן תמונת מצב על היקף ההתייבשויות נכון למרץ 2026. במרחב דרום נערך ניתוח על בסיס חישה מרחוק לכלל היערות המחטניים. בטבלה 1 מוצג אחוז השינוי במדד הצומח NDVI, שנמצא בהתאמה טובה לשיעור התייבשות העצים.

יער כרמים ויער להב

אזור 2 ממחיש היטב את השונות המרחבית הרבה בעוצמת הפגיעה גם בין יערות סמוכים. ביער כרמים (איור 1) נראית תמותה נרחבת וחמורה, בעוד שביער להב, הסמוך אליו, דפוס הפגיעה מפוזר ומקוטע יותר. הבדל זה מדגיש כי גם בתנאי בצורת אזוריים קיצוניים, שיעור התמותה אינו אחיד, וייתכן שהוא מושפע גם משונות מקומית במשטר המשקעים ובמאפייני בית הגידול, כגון קרקע, אבניות, שיפועים ומפנה. בשלב זה הגורמים האלה נמצאים בבחינה, והבנת תרומתם היחסית היא חלק ממאמץ הלמידה המתמשך.

יער צרעה ויער הקדושים

במרחב מרכז התייבשות עצים חריגה נראית במספר יערות (המגינים, בן שמן, משואה ועוד), והיא מתרחשת ביתר שאת ביערות צרעה והקדושים. בשלב זה ביצענו תצלום אוויר עדכני בחודש ינואר 2026, וערכנו ניתוח של שיעור ההתייבשות על בסיס מפת עומדי היער (איור 3, טבלה 2).

מערך הניטור המתפתח כיום מבוסס על שילוב בין חישה מרחוק, מיפוי מתצלומי אוויר ואימות קרקעי. בשלב זה נעשה שימוש הן במדדי צומח המבוססים על סדרות זמן לווייניות הן במיפוי חזותי של תצלומי אוויר. האימות בשטח משמש לכיוול, לאימות ולשיפור התוצרים. עבודת הצוות נשענת על ההבנה שלא קיימת שיטת מיפוי אחת המתאימה

על פי התחזית הרב-שנתית של השירות המטאורולוגי, השנים הקרובות יהיו חמות יותר, וכמויות הגשם יהיו נמוכות מהממוצע (גבעתי וכרמונה, 2025). כלומר, אנחנו נמצאים בתהליך מתמשך של שינוי אקלים שצפוי להחמיר. תהליך ההתייבשות אינו אירוע חולף, אלא שינוי מצב ארוך טווח המחייב התאמה של ניהול היערות לתנאי יובש גובר. לכן, יש לתכנן את חידוש היערות מתוך הבנה שבחלק מהשטחים נדרשים שינויים במבנה היער ובהרכב המינים (פרייזלר וזית, 2022; אוסטרובסקי ואח', 2024).

היקף הפגיעה הגדול ביערות בעקבות ההתייבשויות לצד נזקי שרפות נרחבים, מחייב אותנו להיצמד לתהליכים סדורים של איסוף מידע, קבלת החלטות ותכנון. יש להימנע מהחלטות חפזות, למעט פעולות מיידיות, שנדרשות בעיקר בנושאי בטיחות ובמקרים מיוחדים אחרים.

אגף הייעור הקים צוות משימה שבמסגרתו פועלים שלושה צוותים מקצועיים:

צוות מיפוי וניטור שיפתח כלים למיפוי דינמי מבוסס חישה מרחוק; **צוות מדעי** שיבחן וינתח את גורמי ההתייבשות, ויגבש תובנות לטיפול ביער הפגוע ולחידושו; **צוות ממשק** שינחה וילווה תוכניות לשיקום ולחידוש של היערות. נוסף על כך, הוקמה **ועדת היגוי** רחבה שתדון בכלל ההיבטים, לרבות תקשורת והסברה, ותכלול מומחים מהאקדמיה מהארץ ומחו"ל.

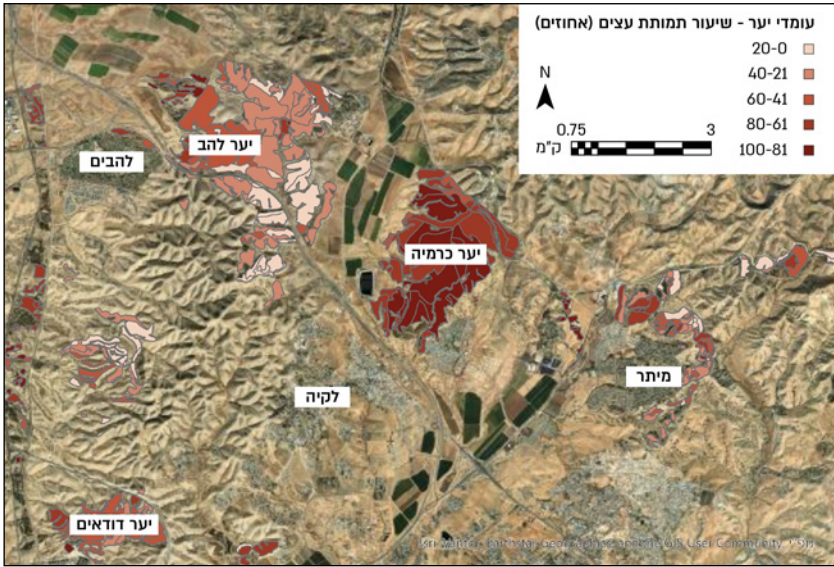
מיפוי התייבשות עצים ביערות

תופעת ההתייבשות דינמית וכרוכה באי-ודאות. צוות הניטור פועל כדי לספק מיפוי עדכני של ההתייבשויות ובו-בזמן לפתח יכולת ניטור דינמי מבוסס חישה מרחוק. לפי שעה המיפוי המידי מתבסס על תצלומי אוויר עדכניים בשילוב

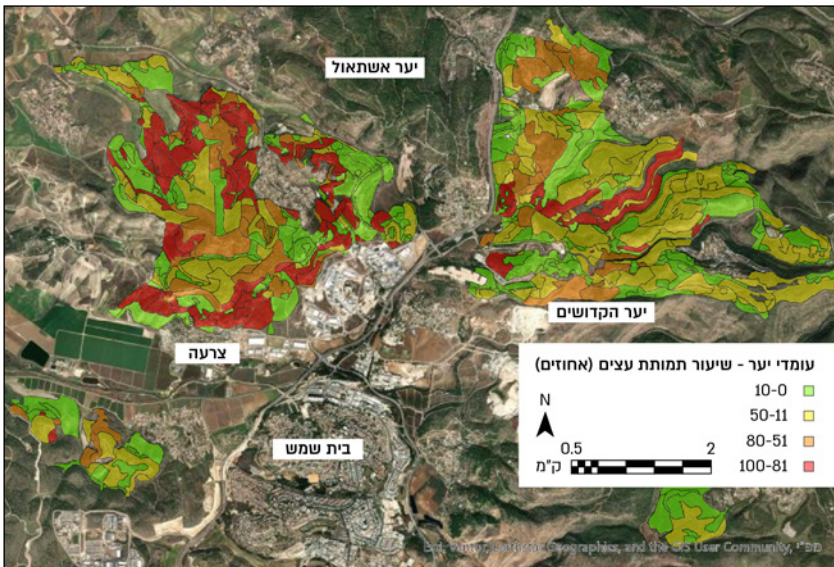
קטגוריה	אחוז השינוי ב-מדד NDVI (2021–2025 בהשוואה ל-2017)	שטח (דונם)
ירידה קטנה מאוד	20<	1,426
ירידה קטנה	30–21	13,079
ירידה בינונית	40–31	38,048
ירידה בינונית-גבוהה	50–41	30,622
ירידה גבוהה	60–51	3,330
ירידה גבוהה מאוד	70–61	188
ירידה קיצונית	71<	38
סך הכול		86,731

טבלה 1

שיעור הירידה במדד הצומח NDVI ביערות הדרום
השוואה של 2025 לממוצע בשנים 2021–2017.



איור 2
שיעור תמותת העצים ביערות כרמים, להב ומיתר על פי ניתוח מדד הצומח NDVI ואימות קרקעי



איור 3
שיעור תמותת העצים ביערות צרעה והקדושים על פי תצ"א מינואר 2026

אחוז ההתייבשות בעומד	יער הקדושים, שטח (דונם)	יער צרעה, שטח (דונם)
10-0	3,304	2,741
50-11	4,321	1,716
80-51	1,448	1,613
100-81	841	2,787

טבלה 2
שיעור התייבשות העצים ביערות צרעה והקדושים

עקרונות עבודה

לכל המצבים: יש מקומות שנדרש בהם מיפוי ברמת העומד, ויש מקומות שעבורם דווקא ניתוח מרחבי רציף או ניתוח מגמות בזמן הם יתרון. לכן, שיטות הניטור מותאמות לאופי השטח ולתצורות הצומח במטרה ליצור תמונת מצב אמينة, מתעדכנת ושימושית לצורכי ממשק.

בבואנו לתכנן את שיקום היערות אנו מסתמכים על מסמכי מדיניות והנחיות מקצועיים שפורסמו בשנים האחרונות: היערכות ניהול היער לשינוי אקלים (אוסטרובסקי ואח'),

שטחים עם 10% עד 50% תמותה – יש לכרות את העצים היבשים והמנוונים (כפוף לשיקולים המפורטים בהמשך) ללא פעולות חידוש ממוקדות בשלב זה. המטרה העיקרית היא טיפוח השכבה הראשית בדור היער הנוכחי והארכת חייה.

שטח עם 50% עד 80% עצים יבשים – יש לחדש את היער במתווה של "חידוש מלא" (כאשר לא נותרו בשכבה הראשית עצים במצב טוב) או במתווה של "ביסוס יער רב-גילי" (כאשר נותרו בשכבה הראשית מספיק עצים במצב טוב).

שטח עם למעלה מ-80% עצים יבשים – יש לחדש באופן מלא בעדיפות להתחדשות טבעית ובשילוב נטיעות בהתאם לייעוד היערני של השטח ואופי בית הגידול.

יודגש שבבחירת המתווה ובקביעת סדר העדיפויות לטיפול יש להביא בחשבון גם שיקולים תכנוניים וניהוליים נוספים.

שלבי העבודה

א. **סקר הערכת מצב.** ביצוע סקר ברמת היער: מיפוי השטחים שנפגעו מכלל שטח היער ודירוג רמת הפגיעה בהם על פי גודל השטח ואחוז התמותה. איסוף נתונים נוספים הנדרשים לקביעת מסלול הטיפול וסדר העדיפויות לביצועו.

ב. **ביצוע טיפולים מיידיים.** טיפול מהיר בעיקר במפגעי בטיחות, באתרים קולטי קהל ובבעיות אחרות הדורשות מענה מהיר.

ג. **קביעת מסלול הטיפול וסדר עדיפויות.** החלטה אילו שטחים מסווגים למסלול טיפול יער שוטף, לטיפול ולהארכה של חיי דור היער הנוכחי, ואילו עוברים למסלול חידוש ולקביעת רמת עדיפות הטיפול עבור כל שטח.

ד. **הכנת תוכנית לטיפול בשכבת היער הראשית וביצועה.** החלטה על אופי הטיפול בשכבה הראשית בהתאם למצבה לצד שיקולים תכנוניים נוספים.

ה. **סקר קדם-חידוש והכנת תוכנית כללית לחידוש יער.** ביצוע סקר בשטחים שעוברים למסלול חידוש. הסוקר יבחן את מצב השטח ואת מידת ההתחדשות הטבעית, ויתחשב בניסיון העבר ובמשתני שטח בעלי חשיבות לתנאי בית הגידול: מפנה, שיפוע טופוגרפי, סוג מסלע ועומק קרקע, המאפיינים את היער הקיים.

ו. **הכנת תוכנית מפורטת וביצוע חידוש היער.** תכנון וביצוע של פעולות החידוש לאורך זמן.

• (2024); הקמת יערות וחידושם (אסם ואח', 2025); מניעת שרפות ושיקום יער לאחר שרפה (אשכנזי ואח', 2025). כולם נסמכים על העקרונות המרכזיים בתורת ניהול היער, שיש להם השלכה מעשית בנושא ההתייבשויות.

א. **ניהול מוכוון מטרה.** קודם לכל פעולה נגדיר את ייעוד השטח היערני ואת תצורת הצומח הרצויה.

ב. **מגוון ומורכבות.** יש לטכח יער מגוון להגברת עמידות וחוסן. הדגש יושם על יצירת מורכבות מבנית וגיוון מינים, בתי גידול ונופים, וכן על התאמת הרכב המינים לבית הגידול בדגש על התאמה ליובש.

ג. **ממשק מסתגל.** ניהול היער באקלים משתנה מחייב ניטור מתמשך ובחינה מתמדת של תוצאות הפעולה בשטח.

ד. **התערבות מושכלת וקביעת סדר עדיפויות.** יש להתאים את רמת ההתערבות למטרות, לאופי השטח ולבית הגידול, ולקבוע סדר עדיפויות ברור לפעולה.

ה. **תהליכים טבעיים.** יש להישען על תהליכי התחדשות טבעית באזורים שמתרחשים בהם תהליכים כאלה, ולתת עדיפות למינים מקומיים.

ו. **ניהול במסגרת אי-ודאות.** יש להשתמש במגוון שיטות, לצד קידום מחקר וניטור ארוכי טווח.

מתווה פעולה

עלינו להבחין בין טיפול בדור היער הבוגר הנוכחי (בעיקר הוצאת העצים הפגועים) לבין חידוש היער (ביסוס דור היער הבא). בחלק מן המקרים יבוצע טיפול בשכבת העצים הראשית (שכבת העצים הגבוהה ביותר) כדי לשפר את תנאי הגידול של העצים הנוותרים ולתמוך בהמשך קיומם, ללא מטרת חידוש. בשטחים בעלי שיעור התייבשויות גבוה הטיפול ביער יתמקד בחידוש, לאחר הטיפול בעצים היבשים שבשכבה הראשית.

ההחלטה על מתווה הפעולה ועל סדר העדיפויות לביצוע נגזרת משילוב של מצב היער (בעיקר רמת התמותה וגודל השטח שנפגע) ושיקולים תכנוניים נוספים: ייעוד השטח היערני, תצורת הצומח הרצויה, פעילות קהל, מניעת שרפות ועוד. בחירת מתווה ושיטות החידוש ייעשו על פי המפורט במסמך הקמת יערות וחידושם (אסם ואח', 2025).

שטחי יער שנפגעו יטופלו על פי ארבעה מסלולים עקרוניים, ורמות הסף לבחירת מתווה הפעולה ייקבעו על פי שיעור התמותה:

• שטחים שיש בהם עד 10% תמותת עצים – אין צורך מיידי בטיפול.

טיפול בשכבת היער הראשית

פגוע ולקבוע סדר עדיפויות.

- **בטיחות ונגישות:** סכנת קריסה למטיילים, לעובדים ולתשתיות (צידי דרכים, חניונים).
- **הגנה מאש:** הפחתת עומס הדלק סביב יישובים, באזורי קליטת קהל, באזורי חיץ ובשטחי יער בעלי ערך גבוה במדד הסיכון לשרפות.
- **חידוש היער:** שטחים בעדיפות לחידוש היער.
- **נצפות ונוף:** כריתת עצים יבשים המהווים מפגע נופי.
- **ערכי טבע ייחודיים ואתרי מורשת:** מניעת פגיעה פיזית בעתיקות או במינים מוגנים עקב קריסת עצים.
- **בריאות היער:** צמצום סכנת התפרצות מחלות ומזיקים (בעיקר בקרבת אתרים קולטי קהל שלא נפגעו).

השיקולים בקביעת סדר עדיפויות לכריתת העצים

- הייעוד היערי של השטח. שטחים בייעוד נופש וטיילות, יערות קהילתיים ואזורי חיץ (לרבות אזורי להפחתת סכנת שרפות ולהקטנת איום על יישובים) יהיו בעדיפות גבוהה לטיפול, ייעודי נוף ומורשת, ערכי טבע ובתי גידול ייחודיים יהיו בעדיפות בינונית, וכל שאר ייעודי השטח יהיו בעדיפות נמוכה.
- סכנת שרפות. עדיפות גבוהה לטיפול לשטחים שיש בהם סיכון גבוה לשרפות קשות (לא רק באזורי חיץ).
- גישות. עדיפות לטיפול בשטחים בעלי גישות טובה לעומת שטחים בעלי גישות קשה.
- מטרת הטיפול. עדיפות לטיפולים שמטרתם הגנה מאש או בטיחות על פני מטרות טיפול אחרות (חידוש יער, נצפות ונוף, בריאות וכן הלאה).
- חידוש יער. כאשר מטרת הטיפול היא חידוש יער, תינתן עדיפות לשטחים בעלי עדיפות לחידוש משיקולים תכנוניים (שטחים קולטי קהל, שטחים הסמוכים ליישוב, שטחים בעלי גישות טובה וכד').
- שטחים ערכיים ורגישים. יש לתת עדיפות לטיפול באתרי מורשת (עתיקות ותצורות נוף) ובבתי גידול ייחודיים שעלולים להיפגע מקריסת עצים מתים. בשטחים כאלה יש לטפל באופן זהיר במיוחד.

המלצות על פי אזור אקלימי

קבלת ההחלטות ביחס לפעולות הנדרשות ולאופי חידוש היער תלויה באופן מובהק בהבדלים הקיימים בין אזורי האקלים השונים, ובייחוד בהערכת האפשרות לחידוש היער על בסיס התחדשות טבעית או נטיעה.

האזור הים תיכוני

באזור הים תיכוני כאשר אנו מעריכים שקיימת יכולת לבסס יער בריא לאורך זמן מבלי להזדקק למניפולציות דרסטיות

השלב הראשון הוא טיפול בשכבת היער הראשית, דהיינו בעצים היבשים בה. נזכיר שתמותה חלקית בשטחי היער יוצרת הזדמנות לעיצוב יער בעל מבנה כתמי, רב-שכבתי ומגוון, בעל חוסן משופר. בשלב זה יש לשים לב למספר עקרונות חשובים:

עבודה על פי סדר עדיפויות: בראש סדר העדיפויות נמצאים אתרים קולטי קהל ודרכים ביער.

סכנת שרפות: באזורי התייבשויות עולה סכנת השרפה בעקבות העלייה ביובש חומרי הבערה. הדבר מחייב מתן עדיפות לכריתת העצים היבשים באזורים המועדים לשרפות.

היקפי ביצוע: שטחי ההתייבשויות הגדולים, יחד עם שטחי שרפות עבר, יוצרים מסה של עשרות אלפי דונמים הדורשים טיפול, נוסף על שטחי יער אחרים (שלא התייבשו או נשרפו) שחשוב לטפל בהם. מגבלות הביצוע מחייבות קביעה של סדר עדיפויות לטיפול על פי רמת הדחיפות בהתאם למטרות ולמצבי יער שונים, כולל אפשרות שחלק מהשטחים שנפגעו לא יטופלו.

דילול שטחי יער שלא נפגעו: טיפול במטרה לשמר ולטפח את דור היער הנוכחי בשטחים שלא נפגעו, יבוצע כחלק מהתוכנית הכוללת האזורית, תוך התמקדות ביערות צעירים ומתבגרים, מאחר שהם יערות שלדילול שלהם יש הסיכוי הגבוה ביותר להשפעה חיובית משמעותית.

דילול כתמים ללא תמותה: בכתמים ללא תמותה בתוך השטח לטיפול אפשר לבצע דילול של עצים מנוונים או של עצים בצפיפות יתר במטרה לשמור על העצים הבריאים.

המתנה בביצוע הדילול: בשטחים שהעדיפות לטיפול בהם בינונית ונמוכה מומלץ להמתין כשנה לפני ביצוע הדילול. הסיבות לכך הן: א. אי-ודאות לגבי השפעת הדילול על העצים החיים שנותרו בשטח, וחשש לפגיעה משמעותית בעצים האלה שסובלים מעקה; ב. אפשרות שתהליך ההתייבשות ממשיך, כך שזמן קצר לאחר סילוק העצים המתים יידרש טיפול חוזר עקב תמותה נוספת של עצים.

טיפול בחומר עץ שנוצר בדילול: במהלך הדילול נוצר חומר עץ רב, שהוצאתו המלאה מהשטח מחייבת מאמץ רב בייחוד בשטחים משופעים בעלי גישות מוגבלת. נוסף על כך, הוצאת העץ גורמת להפרה משמעותית בשטח, תוך פגיעה אפשרית בקרקע ובעצים הנותרים. להוצאה מלאה של העץ קיימות חלופות שונות שניתן לנקוט, בהתאם לרגישות השטח, ליכולת הביצוע ולעלויות. פירוט בנושא זה קיים בחוברת דילול היער המחטני (אסם וצורף, 2019, עמ' 23).

הגדרת מטרות הטיפול בשכבת הראשית

יש להגדיר את מטרת הטיפול המרכזית עבור כל תא שטח

טיפול בשטחי יער שלא נפגעו באופן קשה

חשוב להדגיש כי יש להמשיך ולטפל גם ביערות שלא נפגעו. שינוי האקלים, ובפרט העלייה בטמפרטורה, התארכות עונת היובש והירידה בכמות המשקעים, הוא תופעה ארוכת טווח, ולכן יש לטפל ביער ולהתאימו ככל האפשר לתנאים המהירים, בדגש על דילול היערות המחסניים והפחתת הצפיפות ורמת הכיסוי שלהם בהתאם לרמת היובש הגוברת של בית הגידול (בהתאם להנחיות במסמך "דילול היער המחסני", אסם וצורף, 2019). יש לתת עדיפות ברורה לטיפול ביערות צעירים.

לסיכום, התייבשות העצים הנרחבת שמתרחשת לנגד עינינו גורמת לדאגה, ואפופה בחוסר ודאות, אולם בו-בזמן היא מעוררת לפעולה ומחדדת את החושים המקצועיים. התובנה המרכזית שעלינו לפעול לאורה היא שהחרפת תנאי האקלים מובילה בהכרח לשינוי נוף היער הישראלי: יער פתוח יותר, מגוון במיני העצים ובגילם, מתבסס על מינים מקומיים ובעל התאמה מרבית לבית הגידול. נקרתה בפנינו השעה

לשיפור משק המים, ניתן עדיפות להתחדשות טבעית לצד נטיעה של מינים מקומיים מותאמים ליובש. נוסף על כך, נתאים את צפיפות העצים ואת רמת כיסוי היער לרמת היובש המשתנה. המתווה הרצוי לביסוס יערות מותאמים לשינוי האקלים הוא הסבה הדרגתית של היערות המחסניים הנטועים ליערות רב-גיליים מגוונים על בסיס התחדשות טבעית, ככל שניתן.

אזורים צחיחים וצחיחים למחצה

ביערות שלא מתקיימת בהם התחדשות טבעית של עצים, הקו המרכזי שינחה אותנו הוא ביסוס מיני עצים מותאמים ליובש על ידי נטיעה והתאמת מבנה היער ליובש הגובר. ההחלטה אם וכיצד לבצע את החידוש נקבעת על פי רמת היובש של בית הגידול והייעוד היערי של השטח. יש להדגיש כי ברצוננו להשקיע את מרב המאמצים בשטחים שיש סיכוי גבוה לבסס בהם יער מוצלח.

השיקולים וקבלת ההחלטות לשיטת החידוש באזורים צחיחים ייעשו על פי המתווה המפורט באיור 4.



איור 4

מתווה קבלת החלטות לשיטת החידוש באזורים צחיחים

פעולה לאור העקרונות האלה תוביל ליצירת פסיפס נופי המשלב שיטות ייעור (חידוש) שונות לצד שטחים לא מיוערים, ותגדיל את החוסן והקיימות של היערות באזורים האלה.

ישמשו אותנו בהשגת המטרה הגדולה: שמירה על שטחי היער, המהווים חלק חשוב ממארג השטחים הפתוחים בישראל, טיפוחם ודאגה לכך שגודלם לא יצטמצם.

ליישם הלכה למעשה את העקרונות לניהול יער בר-קיימא, ובראשם חשיבה ארוכת טווח, הגדרת מטרות, תכנון מושכל וסבלני ופעולה הדרגתית מונחית ממשק אדפטיבי. כל אלה

מקורות

אשכנזי מ, צורף ח, אוסטרובסקי ג ואסם י. 2025. **מדיניות והנחיות למניעת שרפות יער ולשיקום יער לאחר שרפה**. מסמך מדיניות והנחיות מקצועיות. קרן קימת לישראל.

גבעתי א וכרמונה י. 2025. **תחזיות משקעים וטמפרטורה בישראל לתקופה 2025–2028**. דו"ח השירות המטאורולוגי הישראלי.

פרייזלר י וזית י. 2022. התמודדות יערות עם שינוי האקלים ההדרגתי ועם אירועי קיצון: התייחסות לעולם והתמקדות בישראל. **יער**, 22, 15–27.

אוסטרובסקי ג, קרואני א, פורת י, אייזנבנד א, סיאקי ג, היבשר נ ואח'. 2024. **היערכות ניהול היער בישראל לשינוי האקלים**. מסמך מדיניות והנחיות מקצועיות. קרן קימת לישראל.

אסם י, אוסטרובסקי ג וצורף ח. 2025. **הקמת יערות וחידושם**. מסמך מדיניות והנחיות על פי תורת ניהול היער. קרן קימת לישראל.

אסם י וצורף ח. 2019. **תורת ניהול היער בישראל: דילול יער מחטני**. מסמך מדיניות והנחיות מקצועיות. קרן קימת לישראל.

התייבשות עצים ביער צרעה, מרץ 2026
צילום: מירב טל מעון



היער מתחדש באופן טבעי: חניון יהדות תימן, יער הקדושים, מאי 2026
צילום: גלעד אוסטרובסקי



בעקבות חגורת השקמים ההיסטורית לאורך מישור החוף הדרומי: תבנית הנוף ושימושי קרקע בשלהי התקופה העות'מאנית ובתקופת המנדט

יובל בן-בסט^{1*} | רועי פורת² | אליעזר באומגרטן³ | גיא בר-עוז²

- 1 המחלקה ללימודי המזרח התיכון והאסלאם, אוניברסיטת חיפה
- 2 בית הספר לארכיאולוגיה ותרבויות ימיות, אוניברסיטת חיפה
- 3 מעבדת אליהו, אוניברסיטת חיפה
- * yuval@research.haifa.ac.il

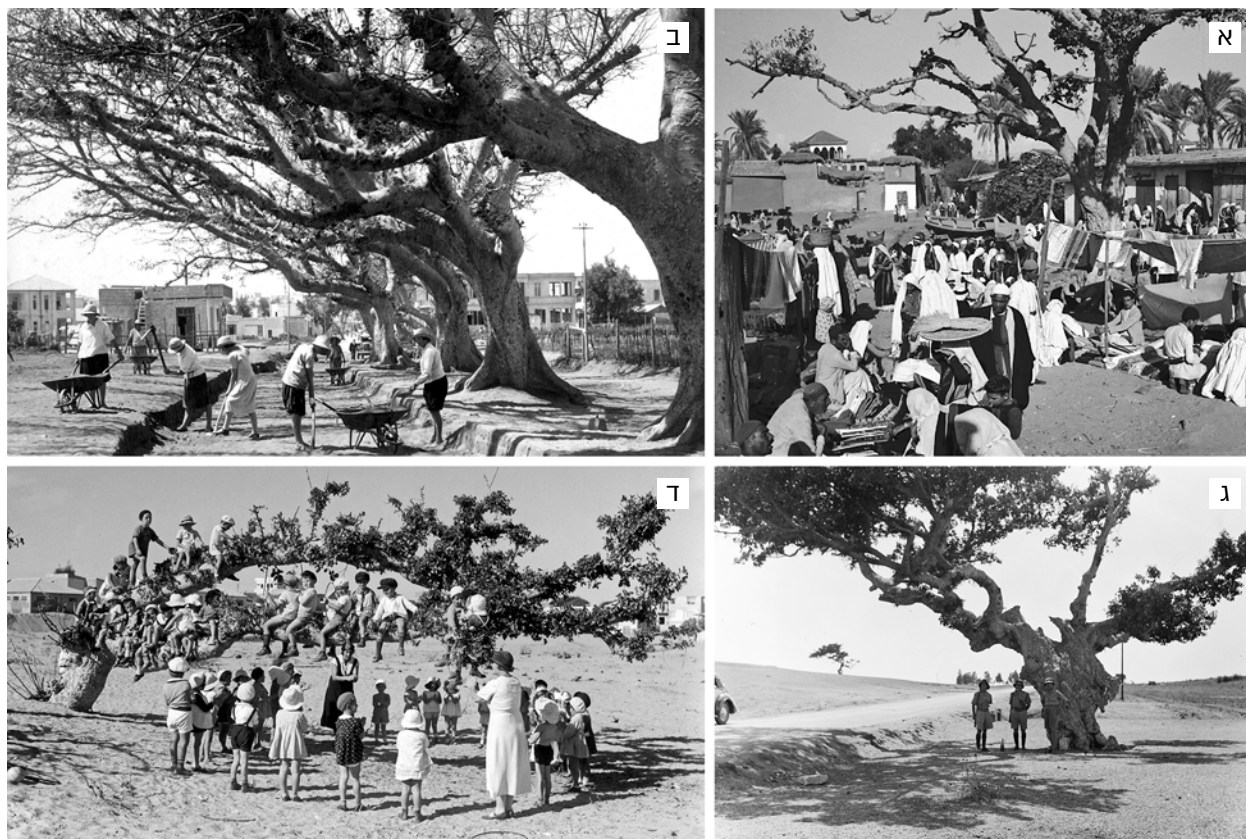
מבוא

של המאה ה-20 (איור 1; Zohar et al., 2025), והם חושפים דגם לא אחיד של פיזור העצים: החגורה לא רציפה לכל אורכה, ובמקומות רבים בדרום מישור החוף היא רחבה – עד כדי מאות מטרים – ובה שקמים רבות שניטעו בחלקות חקלאיות ולאורך רצועת החולות.

תוכנית השימור של קק"ל נגזרה בשל שיקולים בירוקרטיים, סטטוטוריים ומנהלתיים שהפכו את יישומה למורכב ויקר מדי. התוואי שהוצע לשימור חוצה תשתיות לאומיות רבות – כבישים, תחומי שיפוט של מועצות (מקומיות ואזוריות) ועיריות, אזורים מאוכלסים בצפיפות וכן שמורות טבע וגנים לאומיים – מה שמחייב תיאומים עם גורמי תכנון רבים. ללא תוכנית שימור באופק, שרידיה של חגורת השקמים ההיסטורית נמצאים בסכנה עקב פיתוח מואץ, וכבר כיום הם הולכים ונעלמים במהירות.

במסגרת עבודה זו אנו מבקשים להדגיש את ערכם הייחודי של השקמים בדרום מישור החוף ואת הצורך לשמור עליהם. עצי השקמה נחשבים למין מאריך ימים, ואף שאין אפשרות

לכני מעט יותר מעשור החלה קק"ל לקדם תוכנית שאפתנית לשימור ולשיקום של עצי שקמה לאורך כמאה קילומטרים במישור החוף (צפון, 2011; לנר, 2014). את התוכנית בנה עבור קק"ל אדריכל הנוף משה לנר, ומטרתה הייתה החייאת שדרת שקמים עתיקה שנמשכה מגבולה של ארץ ישראל בתקופת המנדט (פלשתינה-א"י) עם מצרים (ליד רפיח) ועד אזור העיר ההיסטורית של יפו ותל-אביב. לאורך ציר זה עבר חלק מ"דרך הים" ההיסטורית (ויה מאריס) – שחיברה בימי קדם את מצרים עם ארץ ישראל, סוריה, אנטוליה ומסופוטמיה (אהרונ, 1987). בקרב שוחרי השקמים מקובלת ההערכה כי מרבית העצים ניטעו לאורך הדורות על קו התפר שבין דיונות החול לשדות החקלאיים. מן המחקרים הספורים שנערכו במקטעים מתוך דרך הים עולה כי בחלק מהמקומות השקמים ניטעו בצפיפות כדי להצל על הדרך, ובמקומות אחרים הן ניטעו בתחנות מנוחה, ליצירת מוקד צל ומפגש (ששון, 2014). עד היום לא נערך מחקר לבחינת דגמי הנטיעה של השקמים והמטרה שלשמה ניטעו. חלקים מחגורת השקמים מתועדים במפות היסטוריות, בתצלומי אוויר ובתמונות מסוף המאה ה-19 ומהמחצית הראשונה



איור 1

א. שוק בכפר אסדוד, 1939 | אוסף Frank Hurley, הספרייה הלאומית של אוסטרליה; ב. פועלות עובדות בסלילת דרך ברחוב קינג ג'ורג' בתל-אביב, שנות ה-20 של המאה ה-20 | ספריית נזריאן אוניברסיטת חיפה, אוסף עיינות; ג. עץ שקמה ליד העיירה אל-מג'דל (al-Majdal) | אוסף מטסון, ספריית הקונגרס, Reproduction Number: LC-DIG-matpc-19872; ד. ילדי גן על עץ שקמה בתל-אביב, 1933 | צילום: Zoltan Kluger, לשכת העיתונות הממשלתית.

ההיסטוריה של השקמים בארץ ישראל

השקמה (פיקוס השקמה, *Ficus Sycomorus*) היא מין עץ ממשפחת התותיים, הנכלל בסוג פיקוס. זהו עץ גדול שמקורו במזרח אפריקה, שם הוא גדל באזורים עם אקלים חם ומי תהום גבוהים. פירותיו אכילים, אך נחשבים טעימים כחות מאלה של קרוב משפחתו, עץ התאנה (פיקוס התאנה, *F. carica*). השקמה אינה מין מקומי בישראל, אלא הובאה בידי האדם ממזרח אפריקה, ככל הנראה כבר לפני כ-3,000 שנה, אולי בידי גלי התיישבות של עמים יורדיים ("ג'י'הים") – בכלל זה הפלישתים – שהתיישבו במישור החוף הדרומי בסוף תקופת הברונזה (במאות 12–13 לפנה"ס; Frumin et al., 2015). הם כנראה עמדו על יתרונותיו של העץ שהיה רב שימושי ואידיאלי לאקלים הים תיכוני החם במישור החוף ובשפלה. מאחר שהמאביק הטבעי של העץ (צרת הפיקוס) אינו נמצא באזור, השקמים בארץ אינם מייצגים זרעים ואינם מתרבות באופן טבעי, ומשום כך אנו יודעים כי כל השקמים

לקבוע את גילם המדויק – בשל היעדר טבעות שנתיות בגזעיהם – עדויות מלמדות שהעתיקים שבהם הם בני מאות רבות של שנים (יהב, 2009; גלון, 2021). היות שכך, הם מהווים חוט מקשר מוחשי בין תרבויות ותקופות שונות: מהעת העתיקה, דרך ימי הבית הראשון והשני, התקופה הביזנטית והמוסלמית, ועד לתרבות הבוסתנים של הכפרים הפלסטיניים מן התקופה העות'מאנית וימי המנדט הבריטי. לשם מה ניטעו העצים? האם הם משרטטים את התוואי של דרך הים ההיסטורית, או שמא הם פזורים במרחב גדול יותר? מי ניטע אותם ומתי ניטעו? מה היה סדר הנטיעה והאם היא נעשתה מתוך כוונה ליצור שדרה רציפה של עצים או שמא מדובר בנטיעה אקראית? סקרנו ומיפינו את עצי השקמה העתיקים של דרום מישור החוף, במרחב שבין יבנה מצפון וגבול רצועת עזה בדרום, כדי לענות על כל השאלות האלה באמצעות בחינת דגמי התפוצה של העצים, שרובם גדלים בר ואינם מטופלים לפחות מאז 1948.

מקורות היסטוריים מהתקופה המוסלמית הימי-ביניימית מלמדים כי עצי השקמה ניטעו לאורך מישור החוף של ארץ ישראל. במאה ה-10 כתב אל-מוחלבי כי בדרך מרפיח לעזה, לאורך מרחק של שני קילומטרים, היו כאלף עצי שקמה שצמרותיהם נגעו זו בזו (Yaqut, 1979). במקור אחר מימי הביניים מוזכרים עצי שקמה ליד רפיח (al-Qalqashandi, 1918). עמר (2000) מציין כי במאה ה-10 מזכיר אל-תמימי כמה זני שקמים שגדלו בארץ ישראל, ובהם 'אלבלמי', שצבעו ורוד ופירותיו קטנים ומתוקים ולא הצריכו בליסה, ה'עזי' (כלומר העזתי), בעל הפירות הקטנטנים, וזן מצרי שכונה 'תאני פרעה', שפירותיו היו גדולים.

בשלהי התקופה העות'מאנית ובתקופת המנדט הבריטי היה מישור החוף הדרומי, מצפון לעיר עזה ועד אשדוד (אשדוד, Isdud) ויבנה (יבנא, Yibna), מיושב בעשרות כפרים וכפרים. מרביתם נבנו מלבני בוך, ומקור המחיה העיקרי של תושביהם היה מרעה וגידול דגנים, ירקות ופירות (Marom and Taxel, 2024). בתקופה זו התרחבה החקלאות מערבה לעבר הדיונות, ועצי שקמה רבים ניטעו בגבול החולות ובגבול חלקות חדשות, כאמצעי למניעת התפשטות החול והרס השדות (Zohar et al., 2025).

השקמים האלה נראות היטב במפות של מישור החוף הדרומי והמרכזי מאמצע המאה ה-19 ועד אמצע המאה ה-20. גם בתצלומי אוויר מתקופת מלחמת העולם הראשונה ואילך מצויים סימנים לקיומה של חגורת השקמים הזו. בתצלומים מהמחצית הראשונה של המאה ה-20 (איור 1) נראים עצים גדולים מאוד בקרבת מקומות קדושים, ליד מתקני מים ציבוריים שנבנו לשימוש עוברי אורח (רהטים בעברית, סבילים בטורקית, סבילים בערבית), במרכזי כפרים ולאורך דרכים, וברקע נראית לא אחת חגורת השקמים. ששון (2021) הציע כי נטיעת העצים בדרום מישור החוף החל מהתקופה המוסלמית נעשתה בחסות השלטון ולא כיוזמה של יחידים. לדוגמה, עצי שקמה ושיזף ניטעו לצדי דרכים בצורה קווית במטרה לסמן חלקות חקלאיות ולקבוע את גבולות הדרכים. דגם הנטיעה של העצים מצריך מחקר ואישוש נוספים, והוא במוקד העבודה הנוכחית.

שיטות

במחקר שנערך במהלך שנת 2025 סקרנו תא שטח המקיף את חגורת השקמים שמשתרעת מיבנה בצפון ועד כרמיה בדרום (איור 2). עבודת הסקר התמקדה בארבעה מוקדים עיקריים: חולות יבנה (ממערב לכפר יבנא [Yibna] שנהרס ב-1948), מרחב מבקיעים (מקום הכפר ברברה [Barbara], שנהרס אף הוא ב-1948), אזור כרמיה (סמוך לשרידי היישוב

בארץ ניטעו כייחורים בידי האדם (איזיקוביץ, 2016). בתור שכאלה, העצים משמשים אינדיקטור ביו-גאוגרפי ותרבותי להכרת דפוסי ההתיישבות והנוף ההיסטורי של הארץ. ריכוז השקמים הגבוה ביותר בארץ נמצא בדרום מישור החוף. באזור זה, המורכב ממספר יחידות גאומורפולוגיות מקבילות וכולל את רצועת החולות הנמצאת בין חוף הים לאדמות החרסית המוצפות בעונת החורף (בר, 2022; Frumkin and Shtuber-Ziso, 2024), נוצרו תנאים סביבתיים עם משטר מים מיטבי לגידול שקמים. לשקמים תכונות אקו-פיזיולוגיות ייחודיות המעניקות לעצים התאמה לתנאים משתנים ויכולת התאוששות מהירה (גליל, 1966), למשל יכולתה של השקמה לצמוח ולעלות מחדש, גם אם נקברה בחול או נגדמה עד הקרקע, והיכולת לשלוח שורשים לקרקע ולהצמיח ענפים צעירים במקרה של חשיפת שורשים בעקבות נדידת חולות. נוכחות השקמים בנוף התרבותי של ארץ ישראל היא בבואה לרבגוניות ההיסטורית שהתקיימה בה לאורך הדורות. הנביא עמוס העיד על עיסוקו כ"בולס שקמים" (עמוס, 14 ז), כלומר מי שביצע את פעולת הבליסה – חיתוך הפגות כדי לזרז את הבשלתן (עמר וסרי, 2004). במשנה נזכרת השקמה כעץ ששימש להדליית גפנים ('גפן אדרת' או 'דלית': משנה, מסכת כלאיים, פרק ו, משנה ד) – שיטה שהניבה יכול רב יותר בהשוואה ליבול מגפנים שרועות על הקרקע. מסורת חקלאית זו המשיכה להתקיים בכפרים הערביים במישור החוף הדרומי עד אמצע המאה ה-20 (פרג'ון, 1998; בן-בסט ואח', 2026; Schmidt et al., 2024), ועד היום ניתן למצוא בדרום מישור החוף גפנים עתיקות המטפסות על שקמים וממשיכות להניב פירות רבים. ממקורות אחרים אנו למדים כי שקמים שימשו גם לייצור קורות עץ לבנייה, כחומר אורגני לזיבול, להצללה וכמזון לבהמות (יהב, 2009; לונדון ואח', ללא תאריך).

אזכור השקמים במקרא ובמקורות יהודיים מאוחרים, כמו המשנה, מספק גם מידע חשוב על הגאוגרפיה ההיסטורית של העץ. בדברי הימים א (כז 28) מסופר על חנן הגדרי שמונה בידי דוד המלך לשר "הַיָּתִים וְהַשְּׁקָמִים אֲשֶׁר בַּשְּׂפֵלָה", מה שמלמד על חשיבותה של השקמה ונפיצותה בחבל ארץ זה באותה התקופה. עדות לנפיצותה של השקמה מצויה גם בספר מלכים א, שם כדי להמחיש את עושרו של שלמה המלך נאמר כי הוא השתמש בעצי ארז רבים "כְּשֶׁקָמִים אֲשֶׁר בַּשְּׂפֵלָה לָרֵב" (מלכים א, י 27). השקמה, הידועה ברגישותה לקור, נזכרת במשנה (מסכת שביעית, פרק ט, משנה ב) כסמן אקלימי-בוטני המורה את הגבול בין הגליל העליון לגליל התחתון: "מִכְּפַר חֲנַנְיָה וְלַמַּעֲלָה, כָּל שְׂאִינֹו מְגַדֵּל שְׁקָמִים – הוּא גִלְיָה הָעֲלִיּוֹן; וּמִכְּפַר חֲנַנְיָה וְלַמַּטָּה, כָּל שְׂהוּא מְגַדֵּל שְׁקָמִים – הוּא גִלְיָה הַתַּחְתּוֹן". פסוק זה גם מלמד על תפוצתה של השקמה בחלקים נוספים של הארץ, נוסף על מישור החוף.

רצועת עזה לתל-אביב-יפו במקרים שהשקמים הוגדרו כפרטים שניטעו לפני קום המדינה.

הסקר ומיפוי העצים נעשו באמצעות מערכת תיעוד ייעודית מבוססת מ"ג (GIS), ועבור כל פרט תועדו מיקום מדויק, היקף גזע, גובה העץ ומצב השתמרות. כמו כן, העץ צולם מזוויות שונות, ובית הגידול תועד גם הוא (דיונת חול, חלקה חקלאית או בסמיכות למבנים או דרכים). לצורך ביסוס המידע שולבו גם צילומי אורתופוטו (צילום אווירי שעבר תיקון גיאומטרי) ברזולוציה גבוהה, שעוגנו כשכבת GIS ואפשרו ניתוח דגמי פיזור מרחוק.

המידע הגאוגרפי שנאסף על העצים שולב במסגרת מערכת מיפוי שכללה שכבות רקע היסטוריות: תצלומי אוויר משנות ה-40 של המאה ה-20, מפות טופוקדסטר (מיפוי המשלב נתונים טופוגרפיים לצד גבולות חלקות, גבולות וקניין) מנדטוריות מהשנים 1931, 1936, 1941, 1947, שסומנו בהן חלקות חקלאיות ודרכים, וכן מפת הסקר של PEF (Palestine Exploration Fund) משנת 1880. שילוב המקורות אפשר לבחון את הקשר בין מיקום העצים לבין מיקומם של דרכים היסטוריות, גבולות חלקות וגבול החולות.



איור 2

שקמים בגבול חלקות חקלאיות באזורי המחקר

א. אזורי המחקר, יבנה 1958, עזה 1959, | Survey of Palestine, 1959
 ב. דפוסי נטיות שקמים 1:100,000, Yibna 1958, Gaza 1959 (בסגול) שתועדו מצפון למבקיעים על מפת טופוקדסטר, אשקלון | Survey of Palestine, Ascalon, 1:20,000 | 1931

תוצאות

סך הכול נסקרו בעבודה זו 953 עצים מעשרה אזורים בתחום שעל פי מפות היסטוריות היו בו בעבר חלקות חקלאיות, גבול חולות וצידי דרכים, כמפורט בטבלה 1. למשל, בשטח שנסקר ממערב לגברעם, שגודלו 563 דונם, אותו 50 עצים בגבול חלקות (E) ו-40 עצים על ציר דרך (D). **שקמים שניטעו כגידול חקלאי וכאמצעי לסימון גבולות של חלקות** בשדות חקלאיים שרדו בשני אזורים שנסקרו: מצפון לאזור התעשייה מבקיעים (שרידי היישוב ברברה) ובאגן נחל שקמה שמדרום לכרמיה (שרידי היישוב הרביא). קווי נטיות העצים באזורים האלה מאפשרים לשחזר גם את גבולות החלקה (איור 3). מדרום לכרמיה שרדו עצי שקמה בשטחים החקלאיים המצוינים במפת הטופוקדסטר מתקופת המנדט משנת 1931, וחלק מהם מתועדים בצילום אוויר משנת 1945 (איור 3). שכיחות גבוהה של שקמים בחלקות חקלאיות נמצאה גם מדרום לאשקלון וממערב לגברעם. סך הכול נמצאו בחלקות החקלאיות שנבחנו 630 עצים, שהם כשני שלישים מסך השקמים שתועדו באזורים הנדונים. השכיחות הגבוהה בשטחים החקלאיים מעידה על חשיבותה של השקמה בכלכלה המקומית ובהווי הכפרי המסורתי של האזור. קווי עצי שקמה יוצרים תחומים ברורים סביב שטחי גידול, הנמצאים בתוך האזור החקלאי

הרביא [Hirbya]) וממערב לגברעם. כמו כן, נכלל מידע על אזור דרום אשקלון, בהסתמך על נתוני עיריית אשקלון שביצעה במקום סקר הצלה (ברנד, 2017). לצד המוקדים האלה תועדו עצי שקמים עתיקים גם בכלל המרחב שבין

שם המרחב	שטח (דונם)	גבול חלקות	גבול חולות	דרכים	אחר	מספר העצים הכולל
יבנה - מערב	210.0				58	58
אשדוד - דרום	645.8	14	8	C		22
גברעם - מערב	563.8	50		E	40	90
אשקלון - דרום	543.8		126	G		126
כרמיה - דרום	1376.3	43		F		43
מבקיעים (ברברה) - מערב	74.9	16		H		16
מבקיעים (ברברה) - צפון 1	146.0	34		J	36	70
מבקיעים (ברברה) - צפון 2	113.5	34		M	28	62
מבקיעים (ברברה) - צפון 3	672.4	420		O	27	447
מבקיעים (ברברה) - צפון 4	82.3	19				19
מספר העצים הכולל		630	134	131	58	953

טבלה 1

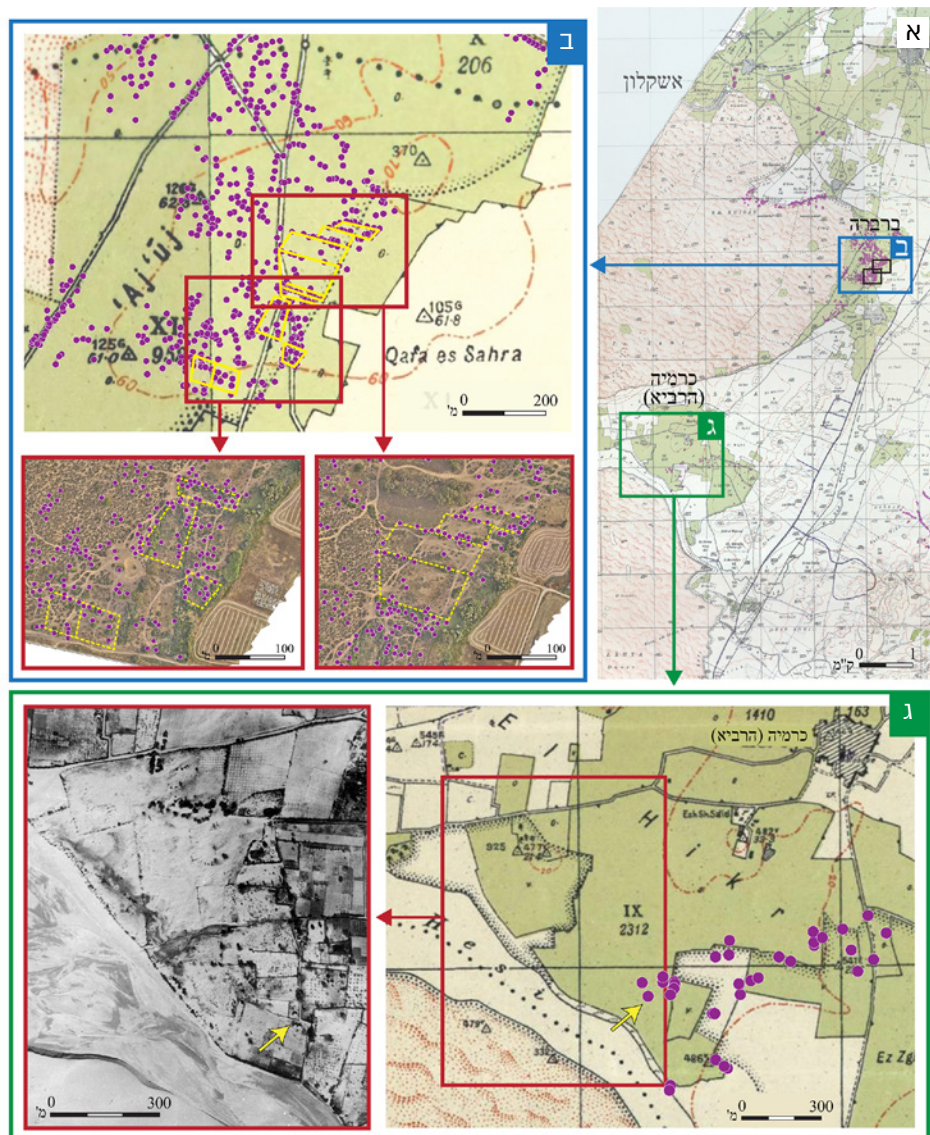
ריכוז נתוני סקר השקמים שבוצע במסגרת המחקר

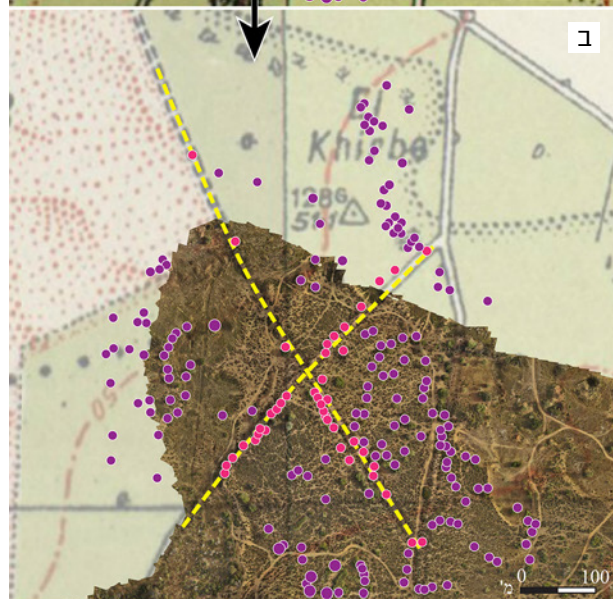
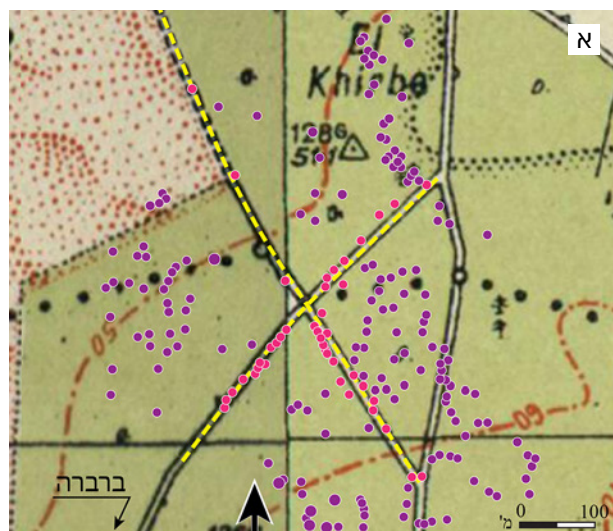
בארבע העמודות הכפולות מופיעים בצד ימין מספרי העצים ובצד שמאל הפוליון.

איור 3

שקמים בגבול חלקות חקלאיות

השקמים מסומנות בסגול. א. מפת איתור על מפת טופוקדסטר משנת 1931 Survey of Palestine, | Ascalon, 1:20,000. ב. חלקות תחומות בשקמים (בצהוב) מצוין למבקיעים על מפת טופוקדסטר משנת 1931 Survey of Palestine, | Ascalon, 1:20,000, וכן סימון מפורט של החלקות הנדונות על גבי אורתופוטו עכשווי | צילום: ט' רוגובסקי; ג. שקמים תחומות חלקות חקלאיות מדרום לכרמיה (הרביא) על מפת טופוקדסטר משנת 1931 Survey of Palestine, | Ascalon, 1:20,000; שקמים שתועדו בסקר מדרום לכרמיה בתצלום אוויר משנת 1945 | אוסף המחלקה לגיאוגרפיה, האוניברסיטה העברית בירושלים, PS 15/680.





איור 5

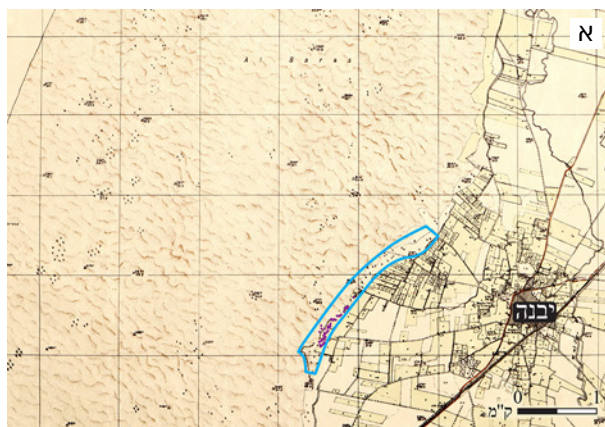
שקמים לאורך דרכים

השקמים מסומנות בסגול ובוורוד. א. שקמים לאורך דרכים מקומיות מצפון למבקיעים, על מפת טופוקדסטר משנת 1931 | Survey of Palestine, Ascalon; ב. אותה מפת טופוקדסטר בשילוב אורתופוטו עכשווי | צילום: ט' רוגובסקי; ג. שקמים בדרך מיפו לכפר סומייל, שנות ה-20 המוקדמות של המאה ה-20 | אוסף סחולטן, ספריית אוניברסיטת לידן, <https://digitalcollections.universiteitleiden.nl/view/item/3431055>

הנרחב, שתועד במפות מתקופת המנדט כשטח המכיל, בין היתר, גידול של הדסים וגפנים.

מאפיין שני בתפוצה של השקמים הוא **נטיעת העצים בשולי הדיונות, בקו המגע שבין החולות לשטח החקלאי** (איורים 2, 3א, 3ב). קבוצות של השקמים האלה אותרו, למשל, בשטחים ממערב ליבנה ומדרום לאשקלון (איור 4). חגורת השקמים על קו החולות הייתה ארוכה, והתפרסה לאורך קילומטרים רבים ברוחב שהשתנה ממקום למקום. נטיעתם של העצים במרחב קו המגע עם החולות נועדה לסייע במניעת נדידת החולות לתוך השדות החקלאיים, והם גם היו חלק מהמערך החקלאי באזור.

דגם נטיעה שלישי הוא **נטיעה לציד דרכים**. בקבוצה זו תועדו 131 עצים ממערב לגברעם ומצפון למבקיעים, לאורך דרכים מקומיות שעברו בין כפרים פלסטיניים שנחרבו ב-1948 (איור 5). עיגון שכבת העצים שתועדו במחקר על גבי מפת הטופוקדסטר מתקופת המנדט אפשר, בין היתר,



איור 4

שקמים בגבול החולות

א. שקמים (בסגול) בגבול חולות ממערב ליבנה, על מפת טופוקדסטר משנת 1943 | Palestine, Yibna, 1:20,000; ב. שקמים בחולות יבנה, 2024 | צילום: יובל בן-בסט.

גם בחלקים צפוניים יותר בחבל הים תיכוני של הארץ, כולל בשטחים שהתאפיינו ביער טבעי של אלונים תבור, כגון אזור השרון.

בשנים האחרונות גוברת ההכרה בחשיבות השימור של עצי השקמה העתיקים ובהיותם חלק בלתי נפרד וחשוב מהמורשת התרבותית של אזורנו. על כן, תוכניות בנייה ופיתוח כוללות היום התייחסות להעתקה של עצים, לעיתים אף בעלות של מיליוני שקלים ובביצוע פעולות הנדסיות מורכבות, כפי שנעשה, למשל, בצומת חולון. למרות זאת, עדיין נדמה כי במקרים רבים הקבלנים יוצאים ידי חובה בעת העתקת שקמים, ואינם מטפלים בהעברות בצורה נאותה, כך שלא פעם רק שיעור נמוך מבין העצים המועתקים שורד. יתרה מכך, בעת העתקה של עצים לא תמיד נשמר המיקום המדויק של העץ, ועל כן אי אפשר לשחזר את דגמי הנטיעה ולבדוק אם היה חלק מחגורת השקמים ההיסטורית.

סיכום

במסגרת המחקר הנוכחי סקרנו עשרה מוקדים מרכזיים בדרום מישור החוף, שתועדו בהם 953 עצים. עם זאת, ניתן להעריך כי אלפי עצי שקמה עתיקים נוספים טרם מופו או שולבו בבסיס נתונים מסודר, בעיקר באזור זה, אך גם באזורים נוספים בארץ. לפיכך, נדרש מיפוי רחב ומקיף יותר בקנה מידה ארצי, שיאפשר לבסס את מעמד השקמים כעצי מורשת ולגבש תוכנית פעולה כוללת לשימורם ולשימור נופי התרבות שהם נטועים בהם.

המחקר הנוכחי מדגים את תרומת הגאוגרפיה ההיסטורית לחקר תפוצתן והקשרן הנופי-תרבותי של השקמים בעת החדשה, אך גם את מגבלותיה בהערכת גילם של עצים עתיקים. היעדרו של מחקר מדעי שיטתי לקביעת גיל השקמים מדגיש את הצורך בפיתוח כיווני מחקר משלימים, שיתבססו על מדדים פיזיולוגיים, מורפולוגיים וסביבתיים. שילוב הגישות צפוי לאפשר בעתיד הערכה מהימנה יותר של גיל השקמים ולחזק את ההכרה בהן כעצי מורשת מרכזיים בנופי התרבות של הארץ.

נוכח הפיתוח המהיר באזור חגורת השקמים ההיסטורית יש צורך דחוף לשמור ולהגן על שרידיה. התוכנית של קק"ל לשימור ולהחייאה של חגורת השקמים לאורך כמאה קילומטר בדרום הארץ ובמרכזה לא יצאה אל הפועל, ונותרה על שולחן השרטוטים. מאז הורע מצבם של רבים מעצי השקמה העתיקים, כמו אלה הנמצאים ממערב ליבנה בגבול רצועת החולות. הפיתוח המהיר באזור ופלישת היישובים אל דיונות החול מאיימים כיום יותר מתמיד על עתידן של

לבחון את הקשר שלהם לדרכים ולחלקות החקלאיות שלצידם. סך הכול מופו בסקר 17 שדרות שקמים לאורך דרכים מקומיות באזור החוף הדרומי (איורים 2, 5). השקמים האלה ניטעו לצורך סימון הדרכים והצללה. כאשר הדרך עברה באזורים חקלאיים, השקמים שימשו גם לסימון הגבול בין החלקות לדרך. נציין שישנם עצי שקמה כזורים שלא ניתן לקבוע בוודאות אם הם מתאימים לאחת משלוש הקבוצות המובחנות. אפשר שחלק מהם גודלו כגידול חקלאי בתוך המערכת החקלאית, כאמור, בעיקר עבור קורות עץ, פירות למאכל ולבהמה, הצללה וכן לאספקת חומר אורגני לצורך טיוב הקרקע.

דיון

מיפוי השקמים שתועדו בסקר על גבי המקורות ההיסטוריים ששימשו בעבודה זו – מפות, תצלומי אוויר ותצלומים היסטוריים – חושף שלושה דגמי נטיעה שכיחים בדרום מישור החוף: לאורך דרכים, בשולי הדיונות בקו המגע שבין החולות לשטחים המעובדים, ובגבולות של חלקות חקלאיות בנוף הכפרי כגידול חקלאי. במקרים רבים אין דגם ברור אחד, אלא הדגמים משתלבים זה בזה.

נוף הארץ, ובעיקר השרון, מישור החוף והשפלה, מתכסה במהירות ב'שלמת בטון ומלט'. יחד עם תהליכי הפיתוח הולך ואובד נוף השקמים הייחודי של חבלי הארץ האלה. למשל, עד שנות ה-80 של המאה ה-20, עת הורחב כביש 4 ועצי שקמה רבים הועתקו ממקומם, התקיים קו רציף של שקמים לאורך דרך הים ההיסטורית באזור מושב מבקיעים. שרידים נוספים של שקמים לאורך תוואי הדרך ההיסטורית ניתן לראות עד היום ליד מחלף אשדוד ובעיינות, שם היה מתקן מים ציבורי (סְבִיל) שהקים מושל יפו מוחמד אגא (אבו-נבוט) בתחילת המאה ה-19. בדרך יפו-רמלה בדרום תל-אביב הקים אותו אבו-נבוט סְבִיל נוסף, וגם לצידו ניטעו עצי שקמה שעדיין נמצאים באתרם. שקמים ניטעו גם לאורך דרכים מקומיות שהלכו מזרחה מדרום מישור החוף לכיוון הרי חברון, ושרידים מעטים שלהן עדיין מצויים ליד מושב גיאה וליד צומת מסמיה במישור החוף הדרומי.

גם במקומות נוספים בארץ – לאורך צפון מישור החוף והשרון, בעמקים ובבקעה – יש שקמים ששרדו, שחלק מהן עתיקות (יהב, 2009; גלון, 2021). גילה של השקמה בנתניה, שנמצאת באתר ששכן בו היישוב אום-ח'אלד, מוערך במאות רבות של שנים, והיא מופיעה בתיאורים מהמאה ה-19, כגון זה של צ'רלס וילסון (Wilson, 1883). אם כן, אנו רואים כי שקמים ניטעו לא רק במישור החוף הדרומי, אלא

תודות

השקמים. יש לקוות כי העניין הציבורי בהגנה על השקמים וההכרה של רשויות התכנון והביצוע בחשיבותן ההיסטורית והאקולוגית יסייעו בקידום תוכנית שימור לשקמים.

פרויקט זה נתמך על ידי הקרן האירופית למחקר ERC Advanced (BOSTAN TREE, מענק מספר 101096539) וכן על ידי משרד המדע הישראלי (מענק מספר 3-18001). ברצוננו להודות לגפן פרג'ון על הסיוע באיסוף הנתונים, ליאיר פרג'ון על התמיכה, ההדרכה והליווי המקצועי, לשאול רביד ולעמרים דרורי על סיורי השטח בדרום מישור החוף, לד"ר יהושע שמידט על העזרה במחקר ובאיסוף הנתונים, לענת פלדמן על עריכת הלשון הראשונית ולספיר עד על העיצוב הגרפי הראשוני.

מקורות

ששון א. 2021. הנוטעים לרבים על אם הדרך. בתוך בינדר ס ואחרים (עורכים). **מלאכת מחשבת: מחקרים במדעי היהדות שמוגשים לכרופסור בצלאל בר-כוכבא בהגיעו לגבורות, תעודה 32**. תל אביב: אוניברסיטת תל אביב. עמ' 579–602.

- Frumin S, Maeir AM, Kolska Horwitz L, and Weiss E. 2015. Studying ancient anthropogenic impacts on current floral biodiversity in the southern levant as reflected by the Philistine migration. *Scientific Reports*, 5(1), 13308.
- Frumkin A and Shtuber-Ziso N (Eds). 2024. *Landscapes and Landforms of Israel*. Cham: Springer.
- Marom R and Taxel I. 2024. Hamama: The Palestinian countryside in bloom (1750–1948). *Journal of Islamic Archaeology*, 11(1), 83–110.
- al-Qalqashandi, Ahmad b. 'Abdallah. 1918. *Subḥ al-a'sha*, Cairo: al-Matba'a al-Amiriyya bil-Qahira. Vol. 14, p. 378.
- Schmidt J, Ben-Bassat Y, and Bar-Oz G. 2024. In Dabouki land: On the cultural history of a landrace grape cultivar in Israel. *Journal of Arid Environments*, 224, 105220.
- Wilson CW (Ed). 1883. *Picturesque Palestine, Sinai and Egypt*, Vol. 2. New-York: D. Appleton.
- Yaqt al-Rumi b. 'Abdallah al-Hamawi (1355–1418). 1979. *Mu'jam al-buldan*. Beirut: Dar Sader. Vol. 2, p. 796.
- Zohar M, Ben-Bassat Y, and Bar-Oz G. 2025. Historical roots of heritage horticulture in the southern coastal plain of Israel. *Land Archeology*, 14(2), 285.

- אהרני י. 1987. **ארץ ישראל בתקופת המקרא: גיאוגרפיה היסטורית**. ירושלים: יד יצחק בן-צבי.
- איזיקוביץ ד. 2016. מדוע אין זרעים בפגות השקמה בארצות אגן הים התיכון ורביית תלויה באדם. **כלנית**, 3, 1–3.
- בן-בסט י, שמידט י ובר-עוז ג. 2026. מגלים את 'ארץ הדבוק' בדרום מישור החוף. **קתדרה**, 189, 30–9.
- בר פ. 2022. **גאוגרפיה של דיונות במישור החוף של ישראל**. ירושלים: מאגנס.
- ברנד י. 2017. **סקר עצים: אקו ספורט – אשקלון** [תוכנית מתאר מס' חדש – 604-0397265, תוכנית מתאר מס' 604-0223255 (אושר בק"ל)].
- גלון י. 2021. עצי מורשת בישראל – מסקנות מ-30 שנות מעקב אחר עצים בוגרים בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 12(1).
- גליל י. 1966. השקמה בתרבות הישראלית. **טבע וארץ**, ח, 306–318.
- יהב ד. 2009. **בעקבות עצי השקמים הנכחדים**. תל אביב: הוצאה עצמית.
- לונדון ע, שנדורפי ב ואיינגר ד. ללא תאריך. שיקמה. בתוך **אנציקלופדיה הלכתית-הקלאית**. מכון התורה והארץ. <https://tinyurl.com/4jaf5vhr>. נצפה ב-13.2.26.
- לנר מ. 2014. **שדרת השקמים: קידום סטטוטורי, דיון מקדים**. https://www.kkl.org.il/files/soil_development/shikma_matzeget3.pdf
- עמר ז. 2000. **גידולי ארץ-ישראל בימי הביניים: תיאור ותמורות**. ירושלים: יד בן-צבי. עמ' 195–196.
- עמר ז וסרי י. 2004. **ארץ-ישראל וסוריה על פי תיאורו של אלתימי: רופא ירושלמי בן המאה העשירית**. רמת גן: אוניברסיטת בר-אילן.
- פרג'ון י. 1998. גפן עלי שקמה. **על אתר**, 139–142.
- צפון ז. 2011. תכנית לשימור שדרת השקמים באזור אשקלון. בתוך ששון א (עורך). **אשקלון: עיר היסטורית – שימור, פיתוח ותיירות, תקצירי הכנס השמיני של "חידושים בחקר אשקלון"**. אשקלון: מכללת אשקלון. עמ' 47–50.
- ששון א. 2014. סבילים והשקית עוברי דרכים בארץ ישראל: הממד הגאוגרפי-היסטורי. **אופקים בגאוגרפיה**, 86, 65–86.

שיקום אפיק משני של נחל חברון

גיל סיאקי* | אורנית גינת

מרחב דרום, קק"ל
gilsa@kkl.org.il

*

באפיק הנחל, ייצוב מדרונות, בניית מעברים חקלאיים, בניית גשרים ועוד.

כבר בשנת 1996 החלה קק"ל בביצוע נטיות עצים בגדות נחל חברון, מזרחית לכביש 60, בקטע הסמוך לכניסה ליישוב מיתר, ובשנת 2010 ניטעו עצים מדרום למיתר עד לצומת שוקת.

לקראת אישור תוכנית הנטיעה באפיק משני הנשפך לנחל חברון, סמוך ליישוב חורה, נערכו סקרים אקולוגיים בשנים 2016 ו-2019. בסקרים נמצא כי האפיק מופר, וכי יש בו ריכוזים גדולים של פסולת בניין, וכך גם מסביב לערוץ. באזורים מסוימים נשק עיבוד הקרקע לגדות הנחל, ובאחרים הקרקע הייתה חשופה מצומח בעקבות רעיית יתר, ובשל כך נצפו נסיגת גדות וסחיפת קרקע וכן פסולת לסוגיה לכל אורך האפיק. מבחינה סטטוטורית השטח הוגדר "יער נטע-

נחל חברון הוא אחד הנחלים הגדולים ביותר באזור הדרום. זהו נחל אכזב, שמוצאו בהרי חברון. הוא זורם בגבול בין הנגב למדבר יהודה אל נחל הבשור שנשפך לים ברצועת עזה. נחל חברון הוא יובל מרכזי של נחל הבשור, וכשיש שיטפונות, הוא מציף שטחים נרחבים סמוך ליישוב מיתר, שממוקם על שפת גדתו המזרחית. הנחל מהווה חלק מאגן הניקוז הגדול ביותר בישראל, ושטח אגן ההיקוות שלו כ-186 קמ"ר.

רשות ניקוז "שקמה בשור" קידמה בשיתוף משרד החקלאות בשנים 2017-2020 הסדרה של נחל חברון בין מיתר לעומר, לאורך של כ-12 ק"מ על סמך תוכנית הניקוז שלה. בפרויקט ניתנה תשומת לב מיוחדת לשמירת הנוף הטבעי בגדות הנחל ובסביבתו במטרה ליצור תנאי זרימה טובים יותר ולמנוע הצפת שטחים חקלאיים ועירוניים. העבודות כללו פינוי פסולת, חפירה ומילוי קרקע במקומות הנדרשים

אדם מוצע" בגודל כ-40 דונם בתוכנית המפורטת "יער יתיר" (איור 1, איור 2).

בשטח קיימים שיחים בודדים של אטד אירופי (*Lycium europaeum*) שגדל לרוב במורד הערוץ, ושל שלהבית קצרת-שיניים (*Phlomis brachyodon*) שגדלה לרוב במעלה הערוץ. רוב המינים הבולטים בשטח הם מיני מעזבות (מינים רודאליים) כמו סולנום זיתני (*Solanum elaeagnifolium*), ברקן סורי (*Notobasis syriaca*), גדילן מצוי (*Silybum marianum*), חוח עקוד (*Scolymus maculatus*), שומר כשוט (*Foeniculum vulgare*), וכן פרטים רבים של ציפורן נקוד (*Dianthus strictus*). בשטח נמצא פרט בודד של צבעוני המדבר (*Tulipa boissieri*) שהוא מין מוגן. לא נצפו בשטח הנסקר מינים אדומים. בערוץ ישנו מצוק לס בגובה של כשישה מטר, והוא אלמנט נופי מרשים שחשוב לשמר. מטרת העבודה של קק"ל הוגדרה כהסדרת האפיק המנקז את זרימת מי הנגר מהיישוב חורה לנחל חברון כדי שיהווה ציר טיול מקשר ביניהם וגם לעבר שטחי היער הנמצאים מצפון וממערב.

התועלת הצפויה מפעילות זאת:

1. שיפור שרתי הוויסות – צמצום מפגעי סחיפת קרקע, מניעת השלכת פסולת לאפיק הנחל (איור 3), צמצום סחף של חומרי הדברה ודשנים מהשדות החקלאיים לאפיק הנחל ומניעת עיבוד חקלאי באפיק.
2. שיפור שירותי התרבות – יצירת רצף תנועה וטיור לאורך הנחל למגוון משתמשים מהסביבה הקרובה והרחוקה.

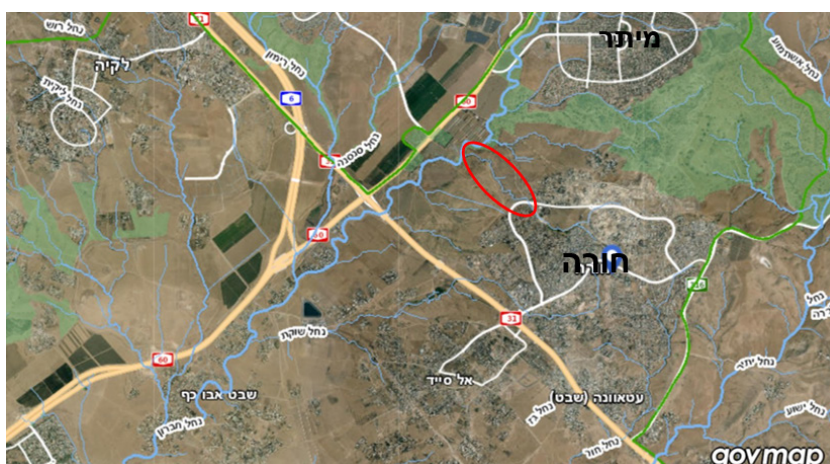
הנטיעה לאורך האפיק בשנת 2023 (איור 4) נעשתה בשיתוף פעולה בין קק"ל לקהילות השכנות חורה ומיתר, והתבססה על מיני עצים רחבי עלים, כמו אלה אטלנטית (*Pistacia atlantica*), חרוב מצוי (*Ceratonia siliqua*), שיזף מצוי (*Ziziphus spina-christi*), שיטת הנגב (*Vachellia pachyceras*) ואשל הפרקים (*Tamarix aphylla*), המתאימים לאזור שכמות המשקעים השנתית הממוצעת



איור 1

האפיק המשני של נחל חברון ב-1945

ניתן לראות את העיבוד החקלאי הגובל בגדות הנחל. הגדות חשופות ולא רואים צמחייה בגלל רעייה. היישובים מיתר וחורה עדיין לא הוקמו. תצלום אוויר מפי"י.



איור 2

נחל חברון והאפיק המשני ב-2026

האפיק המשני, החוצץ בין חורה למיתר, מסומן באדום. מתוך: govmap.gov.il



איור 3

פסולת באפיק משני של נחל חברון
א. ברקע רואים את הבתים של היישוב חורה, 2023. צילום אוויר מרחפן, באדיבות קק"ל; ב. צילום קרקעי מכיוון צפון לדרום, 2023. צילום: גיל סיאקי.



איור 4

נטיעות משותפות לקהילות חורה ומיתר
הנטיעות נערכו בינואר 2023. צילום: גיל סיאקי.



איור 5

לימן צד של אפיק משני של נחל חברון ב-2026

בלימן נטועים שיזף מצוי, שיטת הנגב ואשל הפרקים. צילום: גיל סיאקי.

סוגי קרקע, צמחייה מקומית ובעלי חיים, ויבנו תהליכים סביבתיים כמו זרימת מי נגר. התלמידים והתושבים משתי הקהילות יעסקו בעבודות בשטח, בימי התנדבות, בלמידה סביבתית ובחיזוק תחושת האחריות לנף המדבר. בדרך זו אנו מקווים שבמהלך הזמן ייווצר שיתוף פעולה פורה בין הקהילות, שיעשיר את חוויית התושבים במרחב הפתוח, יחזק את הקשר בין שתי הקהילות, ויעמיק את תחושת האחריות המשותפת לסביבה ואת הצורך בשימוש אחראי במרחב הסביבתי הקולט קהל. כולנו תקווה שפרויקט משותף זה יביא לשמירה על תוואי הנחל ולעתיד טוב יותר לאזור כולו.

בו עומדת על כ-250 מ"מ. הכנת השטח לנטיעה כללה ניקיון פסולת, הקמת מתקני קציר נגר (שיחים ולימני צד) בגדות האפיק והקמת דרך ממשק יער היקפית, שחשיבותה רבה גם ליצירת חיץ משטחי החקלאות (איור 5).

פעילות ההמשך המשותפת לשתי הקהילות אמורה להתקיים החל מחורף 2026 בשיתוף תלמידים שלומדים לבגרות במגמת מדעי הסביבה, והיא ממותגת באמרה "הכדור בידיים שלנו". מפגשים קבועים של התלמידים האלה במהלך השנה יאפשרו לימוד משותף על מערכות אקולוגיות בסביבה מדברית. במהלך המפגשים יכירו התלמידים

יער בלב העיר – קהילה בלב היער

יערות קהילתיים באזור מנשה

טליה בקר

רכזת קהל, אזור מנשה והשרון, קק"ל
taliab@kkl.org.il

כגון ועדות היגוי שנתיות ברשות, אישור תוכניות רבעוניות, קידום קורסים לנאמני יער והעברת תוכן לטובת ניוזלטר של היערות הקהילתיים. הם מסייעים לרפרנטים העירוניים לקדם פרויקטים ארציים של כלל היערות הקהילתיים, כגון תחרות צילומים וקולות קוראים לטובת פעילות תושבים ביער.

מאחר שמדובר ביער קהילתי, קק"ל ונציגי העירייה בוחרים יחד אזור בתחומי היער, המיועד לקיום פעילות קהילתית קבועה. עם זאת, קק"ל מאפשרת קיום פעילויות בשטחי יער נוספים המתאימים לכך. המתחם מתוכנן בשיתוף פעולה מלא עם התושבים במסגרת תהליך של שיתוף הציבור (סקר מקוון ושולחנות עגולים) שמאפשר לקהילה להציג את רצונותיה, צרכיה וחזונה למקום. את התכנון מבצעת מחלקת התכנון של קק"ל, בהתאם לשפה התכנונית של קק"ל, והוא חייב להיות תואם להוראות הרשומות בתוכניות היער המפורטות וליכולת התחזוקה העתידית של קק"ל. התכנון מותאם לאופי הפעילות המיועדת ביער, ומשלב היבטים של נגישות וקישוריות בין העיר ליער, כגון שבילי הליכה, שילוט הכוונה, שולחנות פיקניק וגם אלמנטים נוספים, כמו כיתת לימוד פתוחה, מעגל מדורה, טרסות ישיבה, משטחי פעילות ליוגה. קק"ל מקצה תקציבים ייעודיים לביצוע התוכניות (אביב רוזן, 2021).

היערנים, בהנחיית מנהל הגוש היערי, מבצעים טיפולים שוטפים, לרבות הרמת נוף, סקרי בטיחות לעצים וכל הנדרש באתר קולט קהל. רכז החינוכים של קק"ל מבצע תחזוקה שוטפת של האתר ושל שולחנות היער והמתקנים

מרבית האנשים בעולם חיים כיום בערים שהולכות ומצטופכות. גם בישראל למעלה מ-90% מהאוכלוסייה מתגוררים ביישובים עירוניים. החיים בעיר נוחים ונגישים – שירותים, תעסוקה, תרבות ופנאי – אך לצד זאת מתגברות לא פעם תחושות של לחץ, עומס ומתח נפשי ולעיתים גם ניכור ובדידות. הערים הולכות וגדלות על חשבון השטחים הפתוחים, ובהם גם היערות הצמודים להן. לדוגמה, יער ירושלים, שבשיאו השתרע על כ-4,700 דונם, צומצם לצורך התרחבות עירונית ופיתוח כבישים ותשתיות. כיום שטחו כ-1,250 דונם בלבד.

אל מול מציאות זו קק"ל מציעה מודל של "יער קהילתי" (Community Forest). יער כזה מאפשר לתושבים ריאה ירוקה בקרבת הבית. מעורבות הקהילה מחזקת את השמירה על היער כשטח פתוח איכותי גם לדורות הבאים, ומעניקה לתושבים מרחב לחיבור אנושי, קהילתי וסביבתי. המודל הישראלי נשען על תפיסות בין-לאומיות המדגישות חיבור הדוק בין הקהילה לטבע, תוך מעורבות פעילה של התושבים בטיפוח, בתכנון ובניהול של היער. בישראל היער הקהילתי מנוהל בשותפות בין התושבים, הרשות המוניציפלית וקק"ל, ובין הצדדים נחתמת אמנה המסדירה את תחומי האחריות והיחסים ביניהם.

כחלק מכתב האמנה, הרשות המוניציפלית נדרשת לתקצב רפרנט עירוני בחצי משרה לפחות, שאחראי על ניהול ותכלול של הפעילות ביער מול קק"ל, הרשות ונאמני היער. רכזי הקהילה האזוריים של קק"ל נמצאים בקשר שוטף עם הרפרנטים העירוניים באזור, ועליהם לדאוג שמתקיימים כלל התהליכים הדרושים לקיום שוטף של היער הקהילתי,

הקהילתית של היער צמוד לשכונת שער הגיא בעיר. המיקום נבחר כיוון שהשטח מישורי יחסית, מאפשר פעילות, ומובילה אליו טיילת סלולה מתוך העיר. שטח הפעילות משתרע על כדונם, וכיום מוצבים בו כחמישה שולחנות פיקניק. רכזת חינוך סביבתי של העירייה (שבכל הקשור לקק"ל היא הרפרנטית העירונית) ורכזת קליטת קהל אזורית של קק"ל פרסמו סקר מקוון לתושבי העיר כדי להבין את רצונות הקהילה. בהמשך לסקר מתוכנן פורום של שולחנות עגולים לביצוע חשיבה משותפת עם התושבים בנושא פיתוח עתידי של המתחם הקהילתי ביער.

בתוכנית הממשק הוגדרה כל רצועת היער הסמוכה לעיר כיער קהילתי. יקנעם זכתה להיות אחת משמונה רשויות בפייולט של היערות הקהילתיים שהתקיים בשנת 2018 (אביב רוזן, 2021). נאמני היער הוכשרו בקורס ייעודי שמטרתו להצמיח מובילי קהילה לפעילות ביער. את הקורס העבירה חברה המתמחה בלמידה בחוץ, והשתתפו בו כ-20 תושבים. כיום פועלים כחמישה מובילים קבועים, והם בונים יחד עם הרפרנטית העירונית תוכנית רבעונית, שמאפשרת על ידי רכזת קליטת הקהל האזורית של קק"ל ומופעלת על ידי הנאמנים. בקרוב מתוכנן קורס נוסף של הכשרת נאמני יער (מובילים קהילתיים), כדי להגדיל את מספר הפעילים הקבועים ביער ולעודד קהילות נוספות להשתתף בפעילויות. כל נאמן מקבל על עצמו אחריות על פעילות שיזם – בחירת הספק, ארגון השטח, קבלת התושבים לפעילות וסידור וניקיון בסיום הפעילות. הפעילויות מגוונות, וכללו עד כה סיורים ביער בנושאים של היכרות עם הצומח ובעלי החיים, שעת סיפור שבועית, סדנת צילום בטבע, הצגות בנושאי יער ואקולוגיה, פעילויות יצירה ושיעורי צי' קונג (איור 1).

בהתאם להנחיות הבטיחות. פינוי הפסולת והניקיון מצויים לרוב באחריות הרשות המקומית, האמונה גם על פרסום (למעט הגרפיקה שבאחריות קק"ל) וניהול של האירועים המתקיימים ביער.

חשוב להדגיש כי הפעילויות מוצעות לתושבים ללא תשלום, והן מאורגנות ומתבצעות על ידי נאמני היער שפועלים בהתנדבות וכן על ידי ספקים חיצוניים. זהו מיזם קהילתי-חברתי מובהק, שיוצר מרחב פתוח ומזמין למפגש בין קהלים מגוונים בעיר, מחזק את תחושת השייכות, ומעודד לכידות חברתית. הוא משמש גם ערוץ תקשורת ישיר בין הקהילה לרשות המקומית, ומאפשר דיאלוג שוטף סביב צרכים, יוזמות ואתגרים. במקביל, המיזם מהווה פלטפורמה להסברה ולהנגשת פעילותה של קק"ל, והתושבים עצמם פועלים כשגרירים של העשייה בשטח ומעבירים את המסרים מתוך חוויה אישית ומעורבות פעילה.

היערות הקהילתיים פרוסים ברחבי הארץ. כל קהילה מעצבת את פעילותה בהתאם לאופייה, לצרכיה ולחלומותיה – ולכן אין יער קהילתי אחד הדומה למשנהו. החזון הוא יצירת רשת של יערות קהילתיים, המקיימים ביניהם קשרי גומלין, למידה הדדית ושיתוף ידע. כיום פועלים בארץ 25 יערות קהילתיים, ומתוכם 12 במרחב מרכז – האזור הצפוני ביותר במדינה. באזור מנשה והשרון בקק"ל קיימים שלושה יערות קהילתיים כמפורט להלן:

יער קהילתי יקנעם – יער אליקים

יער אליקים הנושק ליקנעם עילית הוא יער מחטני ברובו, המשתרע על מדרונות בשולי העיר. בתחום היער מצויים כתמי חורש טבעי ושרידי בוסתנים. מתחם הפעילות



איור 1

שיעור צי' קונג ביער קהילתי יקנעם
צילום: אביטל קופר.

יער קהילתי ערה-ערערה – יער עירון

במרחב ואדי ערה מתקיימת הפעילות הקהילתית באזור חניון דהרת, הסמוך לערערה. האזור מאופיין ביערות נטע-אדם – בעיקר מחטניים המשולבים בכתמי חורש טבעי, אלונים עתיקים, בוסתנים ושטחי בתה, לצד אתרי מורשת וארכאולוגיה רבים, כגון גיתות, בארות ובורות מים. זהו פסיפס נופי עשיר של יער, חקלאות ושטחים מבונים. קק"ל מתמודדת ביער זה עם אתגרים כמו השלכת פסולת, שרפות קיץ ונתק בין חלקות היער.

היער הקהילתי נולד כיוזמה של תושבי שכונת אל דהרת מערערה, שאימצו חלקת יער סמוכה, הקימו בה מתקני משחק מאולתרים, וטיפחו את המקום. קק"ל זיהתה את הפוטנציאל הקהילתי, ובשנת 2020 נחתמה אמנה משותפת עם ראש המועצה ומנהל המרחב של קק"ל. השטח הוסדר כאתר קולט קהל, וכיום פועלים בו כ-30 תושבים נאמני יער בהנחיה של הרפרנט העירוני. התושבים שותפים בניקיון, במניעת שרפות ובפעילות חינוכית ענפה. דגש מיוחד מושם על עבודה עם גני הילדים ובית הספר היסודי: הגנות עברו הכשרה ייעודית על ידי "הרשת הירוקה" ולמדו כיצד להפוך את היער למרחב למידה במסגרת שעות בית הספר. כיום הילדים מגיעים לפעילות קבועה של היכרות עם הצומח והחי וחניון לשמירה על השטחים הפתוחים (איור 2). בחלקת היער שמיועדת לפעילות הקהילתית, שגודלה כדונם, קיימות כיתת לימוד פתוחה הנגישה לאנשים עם מוגבלויות, חניה נגישה, שולחנות נגישים ושביל מעגלי שאורכו כ-700 מטר, העובר ביער סמוך למרבדי פריחות של רקפות בעונה ובין אתרים ארכאולוגיים. בשיתוף עם רשות העתיקות מתוכננת סמוך לשביל פעילויות שימור, חשיפה ולימוד לקהילה.

יער קהילתי חריש – יער מצר

תושבי חריש ראו ביער הסמוך לעירם נכס ציבורי חיוני. הם פנו לקק"ל לשותפות ביוזמה להוביל בו סיורים, ובשנת 2022 נחתמה אמנה משותפת עם ראש העיר חריש ומנהלת מרחב מרכז בקק"ל. המיקום שנבחר לטובת פעילות קבועה של היער הקהילתי הוא יער מצר, הצמוד לשכונת הדרום-מערביות של חריש, ונמצא בתחומי הגבול הסטטוטורי של העיר חריש. כ-15 תושבים שעברו קורס הכשרה ייעודית, מובילים כיום באופן קבוע פעילות ענפה. רכזת קיימות וסביבה של חריש (רפרנטית עירונית של היער הקהילתי) מקיימת מפגשי עבודה סדירים לתכנון הפעילות, והגנות בעיר עברו קורס ללמידה ביער על ידי מומחה ארצי בחינוך יער – כך שמספר גני ילדים הולך וגדל בעיר מקיימים פעילות קבועה בטבע מתוך כבוד ושמירה עליו.

באוקטובר 2025 התקיים כנס "יערות", ביוזמת אזור מנשה והשרון בקק"ל ובשיתוף עם רכזת קיימות וסביבה ונאמני היער, בהשתתפות כ-200 תושבים מחריש ומהסביבה וכן ממלא מקום ראש העיר. הכנס נערך כחלק ממאמץ רחב לחזק שיתופי פעולה עם גופים נוספים, כגון החברה להגנת הטבע, ולהעלות את המודעות לחשיבות היער לאיכות החיים של התושבים על רקע האיומים הקיימים של הרחבת העיר על חשבון היער. בכנס נערכו הרצאות בנושאים הקשורים לתכנון יערות, ליער כמרחב מרפא ועוד, ובסיומו התקיים פאנל מומחים בהשתתפות נציגי קק"ל והמרצים, שענו על שאלות מהקהל.

כחלק מהפעילות ביער הקהילתי נאמני היער מקיימים בו באופן קבוע סיורים לימודיים שעוסקים בהובלת טיולים וכן בצומח ובבעלי החיים ביער (איור 3). נאמני היער מובילים



איור 2

סיור ילדים ביער הקהילתי עירון, 2026



איור 3

קבוצת הליכה ביער הקהילתי חריש, 2025
צילום: שמחה פרלמן.

גם פעילויות של סדנאות יצירה ופסיכודרמה, פעילויות מוזיקליות והצגות למשפחות. סקר מקוון לתושבים בחן את חזונם ליער, ובקרוב יתקיים פורום שולחנות עגולים ביער לשיתוף הציבור בתכנון העתידי.

עיר ויער – ישות אחת

היערות הקהילתיים מקשרים בין הקהילה למרחב הטבעי הסמוך, ומאפשרים צמיחה הדדית של העיר והיער כישות אורגנית אחת. קק"ל מרוויחה ציבור אכפתי השותף לשמירה על השטח, והתושבים זוכים במרחב פתוח שמעניק את מה שהכרך אינו יכול תמיד לספק – שקט נפשי, שלוה, תחושת שייכות וחיבור לקהילה. יער שהיה פעם מסתורי, מפחיד ולא מוכר, ולכן קל יותר "לוותר עליו" ואולי גם לבנות עליו עוד שכונה, הופך להיות בית קהילתי שוקק חיים, שאי אפשר לוותר עליו, וכדאי ושווה להילחם עליו כשטח פתוח איכותי וטבעי, בתקווה שגם הדורות הבאים יוכלו ליהנות ממנו.

מקורות

אביב רוזן נ. 2021. כנס יערות קהילתיים במרחב מרכז. יער, 21, 46–47.



יער קהילתי חריש – הצגה ביער, ספטמבר 2025
צילום: שמחה פרלמן



יער קהילתי יקנעם - משחקים אקולוגיים וניקיון יער, דצמבר 2025
צילום: אביטל קופר

עצים ששווה להכיר

אביגיל הלר

אגרונומית
avigailheller1@gmail.com

ברכיכטון הסלעים בלב העיר



איור 1

שדרה של ברכיכטון הסלעים

העצים מתאפיינים בגזע מעובה דמוי הפסל. דרך רג'ר, באר שבע. צילום: אורן זאבי.

ברכיכטון הסלעים (*Brachychiton rupestris*) או בשמו העממי באנגלית bottle tree, הוא עץ דמוי פסל, הבולט בגזעו המעובה, שדומה לבקבוק רחב ומגיע לקוטר של 2 מטר (איור 1). צבעו של הגזע ירוק, ובמהלך השנים מתפתחת עליו שכבה דמוית שעם. העין נמשכת לנופו המעוגל ולעלוותו המגוונת. העלים צרים וארוכים, וחלק מהם בעלי אונות. צבעם של הפרחים קרם-ורדרד, והם מצויים בקצות הענפים ואינם בולטים לעין. הפירות הם מפוחיות קטנות, גלדניות (נוקשות) ובעלות מקור בראשן (איור 2). מוצא העץ מאוסטרליה, והוא יכול להגיע לגובה של 20 מטר. בישראל הוא מגיע לגובה של 5–10 מטר, ומשמש בעיקר בגינון הציבורי (פינס, 2008). גילו יכול להגיע לכ-150 שנה (National Arboretum Canberra, nd.).

בארץ הוא ניטע בשל יופיו וגזעו דמוי הפסל, וכן בשל הצל שהוא נותן. כמו מינים נוספים בסוג, גם הוא שופע צוף, ויכול לשמש למרעה דבורים. באוסטרליה הילידים האבוריגינים השתמשו בכל חלקי הצמח – זרעים, גבעולים, שורשים וקליפת גזע כמזון לאנשים וחיות (בעיקר בשנות בצורת), וסיבי הגזע שימשו להכנת חבלים ואף לרשתות. הילידים נהגו גם לחצוב בגזע העבה פתחים לאחסון (koorihistory.com, 2017).



איור 3

ברכיטון הסלעים מרים ריצוף
רחוב רבין בגבעתיים. צילום: אורי מאירוביץ.



איור 2

פירות של ברכיטון הסלעים
העצים מתאפיינים בגזע מעובה דמוי הפסל. דרך רג'ר, באר שבע.
צילום: אורן זאבי.



איור 4

ברכיטון הסלעים שבגזעו נפער סדק עמוק
נראה כי הסדק נפער בשל תנאי הסביבה. בית אלעזרי. צילום: פבלו צ'רקסקי.

המין גדל היטב באזורים ללא קרה ובקרקעות מנוקזות, גם אם הן דלות ויבשות, אך לא בקרקעות מלוחות. אם הוא נשתל בקרקעות חרסיתיות, השורשים עלולים להתנפח ו"להרים" ריצוף או אספלט (איור 3). המין גדל בעוצמות אור שונות – משמש ועד צל. תכונה זו מאפשרת לו לגדול בעציץ גם כבונסאי בחללים סגורים. הודות לגזע ולשורשים שאוגרים מים, המין חסכן במים. הוא סובל בעודף השקיה, וניקוז לקוי עלול לגרום לסידוק הגזע, להיווצרות ריקבון ואף להתנוונות.

התבקעות, היסדקות ויצירת ריקבון בגזע מופיעים גם בתנאי עקה קיצוניים נוספים, כמו יובש, קרינה, חום וקור. לעיתים הסדק והבקע אינם מתפתחים לריקבון רך, והעץ יכול להתקיים עם הנזק שנים רבות (איור 4). ניתן לאחות את הסדק או הבקע באמצעות מערכת תמיכה ("אורתופדיה"). כדאי להלבין אותו בעזרת תכשיר אבק (לובן) בצעירותו כדי למנוע היווצרות סדק שהוא תוצאה של פגיעה בגזע, שנגרמת מקרינה ומחום. בכל מיני הברכיטון נשר הפרי מכיל זרעים צהבהבים המכוסים בשערות צורבניות, והן עלולות לצרוב את העור והעיניים. מסיבה זו איסוף הזרעים נעשה עם כפפות.



איור 6

ברכיטון הסלעים

בית חנו, 2012. צילום: אביגיל הלר.



איור 5

שדרה מרהיבה של ברכיטון הסלעים באי תנועה

רחוב עקיבא, רעננה, 2013. צילום: אביגיל הלר.

בארץ נפוצים גם מיני עצי ברכיטון נוספים, הבולטים בפריחתם. ברכיטון דו-גוני (*B. discolor*) מאופיין בפעמוני פריחה גדולים למדי וורודים, וברכיטון אדרי (*B. acerifolius*) הוא בעל פרחים אדומים שופעים ובולטים. מינים שפריחתם צנועה יותר, הם ברכיטון אוסטרלי (*B. australis*) שיש לו פרחים בצבע לבנבן או קרם-ירוק, וברכיטון צפצפתי (*B. populneus*) שפעמוניו בצבע קרם-ירקרק עם ניקוד אופייני בצד הפנימי. נשר הפרחים הצבעוני שלהם יוצר במקומות פתוחים מרבדי פריחה משובבי נפש. עלי שלושת המינים הראשונים גדולים ובעלי אונות, ואילו לברכיטון הצפצפתי עלים מגוונים – דמויי ביצה, דמויי לב או בעלי אונות.

המין נשתל על ידי עיריות בכל רחבי הארץ, וגדל גם במושבים, בקיבוצים ובגנים בוטניים, בעיקר כפרטים בודדים. פרטים מרשימים של ברכיטון הסלעים נפוצים במרחב העירוני, למשל באיי תנועה ובכיכרות (איור 5), בהתיישבות העובדת (איור 6) ובגנים בוטניים (כמו בחוות נוי, שבעמק חפר).

מקורות

koorihistory.com. 2017. Kurrajong (Brachychiton) – Traditional Aboriginal usage, food and technology.
<https://koorihistory.com/kurrajong>

פינס, נ. 2008. עצי נוי בישראל. הוצאה עצמית.

National Arboretum Canberra. Nd. Brachychiton populneus.
<https://www.nationalarboretum.act.gov.au/living-collections/forests-and-trees/forest-79>. Viewd 7 March, 2026.

עצים ששווה להכיר

חגי יבלוביץ'

אגף הייעור קק"ל
hagayy@kkl.org.il

אלון השעם בגן הבוטני במקווה ישראל



אלון השעם (*Quercus suber*), המכונה באנגלית cork oak, הוא עץ ירוק-עד ממשפחת האלוניים (Fagaceae). תפוצתו הטבעית היא במערב הים תיכון, בעיקר בחצי האי האיברי (ספרד ופורטוגל), אך גם לאורך החופים של דרום צרפת, איטליה (כולל סרדיניה וסיציליה) וצפון-מערב אפריקה (Mediterranean Forest). בישראל העץ אינו גדל בר, אך ניתן למצוא פרטים נטועים בערים כמו ירושלים, וביישובים ברחבי הארץ, למשל באזור השרון. פרטים בולטים נמצאים בארבורטום אילנות, במכון ויצמן, בקיבוץ גבעת ברנר ובמשרדי קק"ל בבית נחמיה (איור 1). בבית חנניה מצויה שדרה יפה של המין.

העץ גדל לאט באופן יחסי לרוב האלוניים, אך יכול בבגרותו להתנשא לגובה של כ-20 מטר. הוא בעל גזע בעל צורה מיוחדת, שמתפצל במקרים רבים בגובה של מספר מטרים. לעץ עלים בצבע ירוק כהה. הם מעט גלדניים, ושעירים בצידם התחתון. אלון השעם פורח באביב: הפרחים הזכריים ערוכים בעגילים, והפרחים הנקביים בחיק העלים. הבלוטים באורך 2–3 ס"מ, בעלי ספלולים עם קשקשים ארוכים, ומבשילים בסתיו. את הבלוטים אפשר לייבש ולטחון ולהשתמש בהם כתוספת לדייסות, או ביחד עם קמח לייצור לחם.

ייחודו של אלון השעם בקליפה עבה מאוד ומבודדת, שמהווה, ככל הנראה, התאמה לשרידות בשרפות. קליפת השעם נוצרת מרקמה מיוחדת שנקראת קמביום השעם. הקליפה מיוחדת בכך שצפיפותה נמוכה וקצב גידולה מהיר.

איור 1

אלון השעם במשרדי קק"ל בבית נחמיה

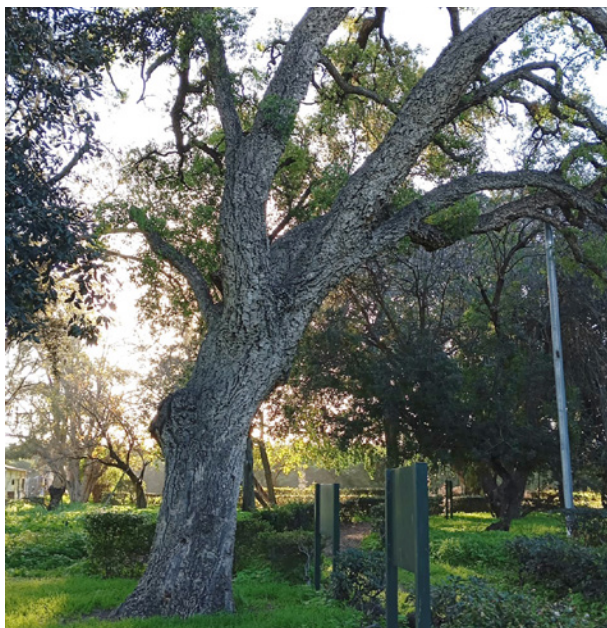
העץ מגיע לגובה של כ-13 מטר נכון לפברואר 2026. צילום: אמיר הרמס.

בגן הבוטני שבבית הספר החקלאי מקווה ישראל נמצא עץ אלון שעם מהגדולים והמרשימים בארץ (איור 3). העץ ניטע בשנת 1930, ככל הנראה על ידי אליהו קראוזה, שהיה מנהל בית הספר. העץ מגיע לגובה של יותר מ-15 מטר, וקוטר צמרתו יותר מ-10 מטר. לעץ אין היקף צמרת מלא בגלל תחרות עם עצים אחרים בסביבה. לאחרונה התקינו אנשי הגן הבוטני עמוד תמיכה לעץ, בגובה 7 מטר מתחת לאחת הזרועות. ככל נראה, קליפת העץ לא קולפה מעולם. העץ נמצא בצד הצפון-מזרחי של הגן, וניתן לזהות אותו בקלות לפי הגזע המיוחד שלו ושלט ההסבר הסמוך.

קק"ל מספקת מדי שנה עשרות עצי אלון השעם לנטיעה באזורי גינון מתאימים. מדור זרעים של קק"ל אחראי לאיסוף הבלוטים מעצים שונים ברחבי הארץ ולהעברתם למשתלות קק"ל להנבטה וגידול.

כאשר מסירים את הקליפה ומשאירים את הרקמה היוצרת ללא פגע, נוצרת במשך הזמן שכבת קליפה חדשה שמגיעה לעובי של 3–4 ס"מ וניתן להסירה שוב תוך 9–12 שנים (איור 2). הסרת הקליפה בצורה זאת איננה פוגעת בעץ (אתר צמח השדה). גידול אלוני שעם לתעשייה נפוץ כיום בעיקר בארצות מוצאו. בגידול המסחרי מתחילים לקלף את העץ כאשר הוא בן כ-25 שנה. במשך חייו של עץ שעם ניתן לחזור ולקלפו 10–20 פעמים. העץ יכול להגיע לחיות כ-250 שנה, ומלאכת הקילוף נעשית באופן ידני.

כבר בתקופה הרומית נעשו שימושים רבים בקליפת העץ. הרומאים השתמשו בה לאיטום ספינות, לרשתות דייגים, למצופים ואף לסנדלים. כיום משתמשים בשעם בעיקר לייצור פקקים לבקבוקי יין, אך יש לו שימושים רבים נוספים, כמו אטמים, סוליות פנימיות לנעלים, לוחות שעם לשימושים שונים, תיקים, מזכרות לתיירים ועוד.



איור 3

אלון השעם, הגן הבוטני במקווה ישראל

ניתן לראות את התמיכה שהוספה לעץ, כפרואר 2026. צילום: מורן פלג.



איור 2

גזע של אלון השעם הגן הבוטני במקווה ישראל, מבט מקרוב

כפרואר 2026. צילום: מורן פלג.

מקורות

Houston Durrant T, de Rigo D, and Caudullo G. 2016. An extended summary of the chapter: *Quercus suber* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz J, de Rigo D, Caudullo G, Houston Durrant T, and Mauri A (Eds). *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01ff11+. https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/atlas/Quercus_suber.pdf

אתר הגן הבוטני האוניברסיטאי, גבעת רם. אלון השעם. נצפה בכפרואר 2026. <https://www.botanic.co.il/flowers/אלון-השעם>
אתר צמח השדה, קק"ל. אלון השעם. נצפה בכפרואר 2026. <https://www.kkl.org.il/wild-flower/plants/2742.aspx>



עצי אורן קנרי ביערות הזרע, 1966
צילום: עוזי פז, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

יער של ספרים

גלעד אוסטרובסקי

אגף הייעור קק"ל
GiladO@kkl.org.il

עתידינו המשותף, אקולוגיה ועולם המחר, מאת הנציבות העולמית של האו"ם לסביבה ולפיתוח

הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל, 1990
עריכה ומבוא: אלכסנדר ברזל
תרגום מאנגלית: רחל וזאב אשכולות

לחלקים נרחבים של האנושות. ואומנם, המסגרת המושגית של הספר פורצת הרבה מעבר לפרדיגמה של 'שמירת טבע' או 'שירותי המערכת האקולוגית', ומציבה את התפיסה של האחריות לדורות הבאים במוקד הדיון. קולמוסין רבים נשברו בניסיון להגדיר באופן מדויק את המונח הזה, ואף נמתחה ביקורת על תקפותו, אך אני סבור שהוא מבטא דווקא עומק רעיוני בכך שהוא מכיר ביסוד האי-ודאות של מצבנו, ורואה בכל דור ודור כאחראי לעיצוב בר-קיימא שלו ושל הדורות שיבואו אחריו. מכאן הגיע הרעיון של עקרון 'הזהירות המונעת', שנעשה מושג חשוב בשאלות סביבתיות. התפיסה הרחבה הזו מתבטאת במתן מקום מרכזי להיבטים החברתיים, ובראשם בעיית העוני בעולם, ובקביעה שחלוקה צודקת, צמצום הפערים ומיגור העוני הם אבני יסוד במדיניות של פיתוח בר-קיימא. מאז פרסומו המונח 'בר-קיימא' נלווה לתחומי פעילות רבים: 'תחבורה בת-קיימא', 'חקלאות בת-קיימא', 'יערנות בת-קיימא' וגם 'צריכה מקיימת'. כמדומני, שהמושג 'קיימות', כתרגום למונח באנגלית Sustainability, גם הוא תולדה של הספר 'עתידינו המשותף'. הדיון, הניתוח וההמלצות המפורטים כאן נוגעים בכל מישורי חיינו – תעשייה, משאבים, אוכלוסייה, המגוון

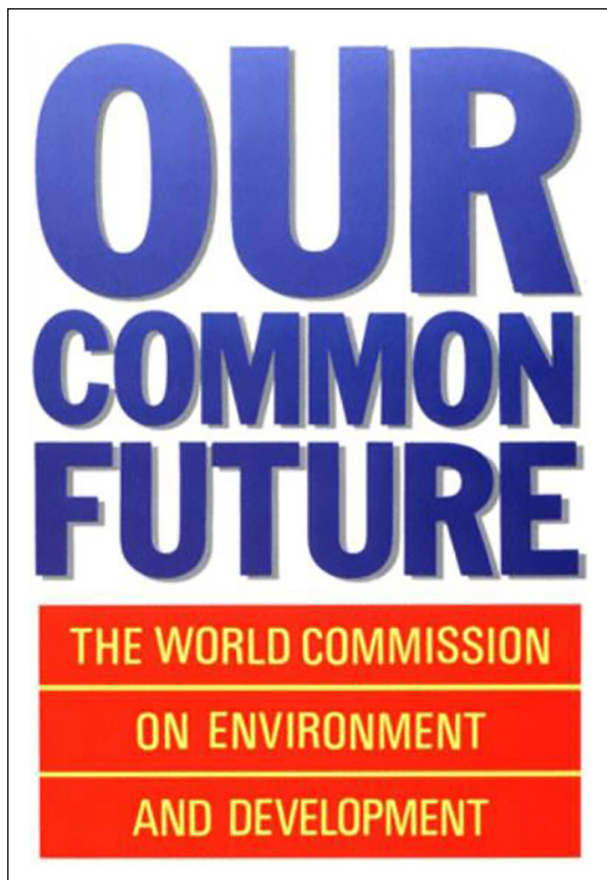
גיליון זה של 'יער' שאתם קוראים בו, מוקדש לשירותי המערכת האקולוגית, וזו הזדמנות טובה לשוב ולהיזכר בספר 'עתידינו המשותף' (Our Common Future). זהו חיבור מכונן בתולדות הסיפור האקולוגי-סביבתי-קיומי שלנו, והוא מהווה אבן דרך מרכזית בתולדות התפתחות המחשבה והמדיניות הסביבתית. הספר הוא למעשה דו"ח שפרסמה נציבות האו"ם לסביבה ולפיתוח בשנת 1987. בספר משמשים מספר מושגים שקנו להם אחיזה מרכזית בשיח המקצועי, ובראשם 'פיתוח בר-קיימא' (Sustainable Development), שמופיע כאן בתרגום העברי בשם 'פיתוח שניתן לקיימו', כלומר, פיתוח אנושי שמספק את צורכי הדור הנוכחי מבלי לפגוע ביכולתם של הדורות הבאים לספק את צורכיהם. אכן, הבסיס הרעיוני של הספר נובע מהדאגה שמא כדור הארץ לא יוכל להמשיך ולתמוך בקיום האנושות כפי שאנו מכירים אותה.

שילוב של תהליכים הולכים ומתעצמים – הזיהום התעשייתי, ניצול המשאבים הגובר, הררי הפסולת, מחסור במים, בירוא יערות, פיתוח מואץ וגידול אוכלוסין מתמשך – מוביל אותנו לדרך ללא מוצא, התדרדרות שעלולה להסתיים באסון

לקרוא את דברי המבוא שכתב העורך, פרופ' אלכסנדר ברזל מהטכניון. ראוייה לציון העובדה שפרופ' ברזל הוא פילוסוף, שתחום מומחיותו איננו הסביבה או מדע המדינה. במבוא תמציתי, הכתוב בלשון יפה ועשירה, הוא נוגע בנקודות המכריעות: מקומו של האדם בטבע, הפיתוח הטכנולוגי ושברו – "עידן של התפתחות טכנית הדוחפת אל יתר פעילות כצו עליון" – וכמובן ערכים ושותפות גורל. הוא מדגיש שאין 'סביבה' בלי בני אדם, וממילא התיקון הנדרש מצריך גישה לתרבות האדם, לאורחותיו ולארגון חייו. הוא חותם בכך שהאתגר הסביבתי הוא כלל אנושי, ואין מקום ל"עם לבדד ישכון".

בימים אלה, ימי מלחמות והיחלשות מסגרות מדיניות וחברתיות, נראה שדרך ארוכה עוד לפנינו בהגשמת הרעיונות וההמלצות המובאות בספר. אך זו הייתה ונתרה הדרך הנכונה, וטוב שיש לנו מצפן שיורה לנו את הדרך הראויה.

החוברת באתר מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית:
<https://www.neaman.org.il/wp-content/uploads/2024/02/ECO.pdf>



כריכת החוברת באנגלית, לקוח מוויקיפדיה באנגלית

הביולוגי, אנרגיה, עירוניות – וכולם עומדים במלוא תוקפם גם כיום, 40 שנה לאחר פרסומו.

מעבר לעיסוק בנושאים סביבתיים גרידא ובנושאים חברתיים, אני מבקש להדגיש שני עיקרים חשובים שהעניק לנו הספר: האחד, שיתוף פעולה כיסוד הכרחי. כמה מובן מאליו, וכמה קשה ליישום. שיתוף הפעולה נדרש ברמה המקומית וברמה הבין-לאומית, בין עמים, בין לאומים ובין מדינות. הסביבה איננה מכירה בגבולות שיצר האדם. הנהר חוצה גבולות מדיניים; את אגן הניקוז חולקים עמים ותרבויות שונות; מעלה הזרם קשור למורד הזרם; האטמוספירה היא נחלת הכלל (שינוי האקלים עדיין לא הובן אז כפי שאנחנו מבינים אותו כיום).

כדי לשמור על איכות המים, האוויר והקרקע עלינו לשותף פעולה, ולשם כך צריך לבנות כלים מוסדיים ולחזק את המוסדות הקיימים, ובראשם המדינה. ארגון האומות המאוחדות ראה עצמו כמנהיג שיתופי הפעולה, וקרא לכוון מוסדות ולחזק מדינות ביכולתן לקחת אחריות. בעיות הסביבה הן בעיות החברה והדרך לטפל בהן היא דרך הפוליטיקה. ואכן, מי שעמדה בראש הנציבות והובילה את כתיבת הדו"ח היא פוליטיקאית רבת ניסיון, שהדו"ח נקרא על שמה, דו"ח ברונדטלנד. גרו ברונדטלנד (Gro Brundtland) הייתה ראשת ממשלת נורווגיה, והיא נטלה על עצמה להוביל את הקמת הנציבות ואת כתיבת הדו"ח משום מחויבותה לסביבה וההבנה העמוקה שלה בצורך בשינוי. מילות ההקדמה שלה מהדהדות מאז ועד היום: "מאחר שהפתרונות לבעיות כה יסודיות וחשובות טרם נמצאו, הרי שאין חלופה, אלא להתמיד בניסיונות למצוא אותם" (עמ' 12).

היסוד השני, שאינו כחות בחשיבותו הוא השלום. "מבין הסכנות המרחפות על הסביבה, החמורה שבהן היא ללא ספק המלחמה הגרעינית או אף סכסוך צבאי בקנה מידה מצומצם יותר שיופעל בו נשק להשמדה המונית" (עמ' 187). האיום הגרעיני לא שכך מאז, אך מעבר לכך, הדו"ח מציין שלחץ סביבתי יכול להוות מקור לסכסוכים, ומצד שני הסכסוך עצמו גורם לפיתוח שלא ניתן לקיימו. סכסוכים ומלחמות גורמים לאובדן חיי אדם, להרס ולנזקים סביבתיים ניכרים. הם לא מאפשרים שיתוף פעולה, ודוחקים לניצול מוגבר של משאבים ולפליטה מוגברת של זיהום. מרוץ החימוש תובע הררי משאבים חומריים שמוכנים להצטיידות צבאית, בשעה שהיו יכולים לשמש למיגור העוני ולטיפול בבעיות הסביבה.

הספר מחזיק למעלה ממאתיים עמודים. אם אתם מתייראים מגודל המשימה או שאין זמנכם בידכם, אני ממליץ מאוד

יער של שירים

ענבר קמחי-אנגרט

עורכת לשון ותוכן
inbar.home@gmail.com

זן נכחד / יענקל'ה רוטבליט

לחן: החצר האחורית – גדי רונן, איתמר ציגלר ותומר יוסף

יענקל'ה רוטבליט הוא יוצר (משורר, פזמונאי, עיתונאי ומלחין) פורה חד ונוקב, שלא חושש לעסוק גם בסוגיות קשות, בין אם במבט חודר ובין אם בניסוחים קלילים. בשיר 'זן נכחד' הוא מרחיב את העיסוק שלו בהיבטים שונים של מציאות חיינו – הסכסוך המדמם, השחיתות, הסוגיות החברתיות ותחושת אובדן הדרך, וכותב על הפן הסביבתי של ההווה והעתיד שלנו (קדם לכך השיר 'מי הרג את ים המוות?') שביכה את התייבשות ים המלח).



את השיר מבצע יענקל'ה רוטבליט, והוא לא שר, אלא מדבר, מה שמוסיף אלמנט של קינה למילים. חברי הלהקה מצטרפים בשירה בפזמון, הם הציפור, ולא ברור אם הבטון בנבואתה רומז לבנייני מגורים או לבית קברות. האם היא כמו היונה בתיבת נוח, שמעניקה תקווה לעתיד, או כמו הקנרית במכרה הפחם שמתריעה בכוחותיה האחרונים, לפני שקולה גווע, על האסון המתקרב? בתמונה: סבכי השיטים | צילום מתוך ויקיפדיה

אומרים שלא היה כזה קיץ מאז המצאת מד החם
השמש רותחת, קודחת, שרפות ענק מתלקחות בכל מקום
הרוח לוקטת, יערות חרוכים, הירק הפך לצהב
אם היה עוד כוכב שנתן לחיות בו, הייתי שוקל לעזב.

לפעמים קשה לנשם, האויר מכיח ומזהם
קרחוני ענק בני אלף שנה מתאבדים וקורסים אל הים
מי ימות פה מן היבש? מי יספה בשטכון?
לפעמים נדמה שהקטב אבד את הצפון.

צפור קטנה לוחשת לי: כדאי לך לברח
הדחפורים באים בדרך העולה
על הגבעה הזאת רק בטון עתיד לכרם
אם תשאיר פה – תכחד כמו עוד חיה.

הסופה לא פסקה כל החדש, הכל הוצף, נסחף ונשטף
מישור החוף נעלם כשהאוקיינוס עלה על גדותיו
ראשי מגדלים מבצבצים מן המים, מחפשים טפת אויר
וכרישים שטים הלון ושוב בלשכה של ראש העיר.

אומרים שלא היה כזה חורף מאז ימות המבול
העולם הוא תבת נח שצריכה לחשב מחדש את המסלול
כי לאמא טבע לא יחסר דבר, וליקום לא אכפת
אם האדם יהפך לאיזה זן נכחד.

במעשי ידי המרהיבים, אך הזמן שחלף לא הותיר להם זכר, ואיננו יכולים לראות אותם. העולם משתנה, תרבויות עולות ונופלות, גם הדינוזאורים האימתניים נכחדו, וייתכן שזה גם עתידו של האדם. בחזונו של רוטבליט, לא רק שאין אנשים ("זן נכחד"), מי שנמצא בלשכת ראש העיר הוא הכריש, חיה שיש לאדם פחד קמאי ממנה, והיא נתפסת כאויב. אין מה לעשות, אין איך להתנגד לשינוי, אפשר רק לנסות להציל את עצמך. אולי זה המקום להזכיר, שבשום תרחיש שיבוש האקלים אינו צפוי להשמיד את האנושות כולה.

התחושה העולה מבתי השיר היא של מאבק בלתי אפשרי בכוחות גדולים, אבל דווקא הפזמון מזכיר נושאים שהם בהחלט בידנו. הבחירה היא שלנו. אנחנו יכולים להרוס עוד ועוד שטחים פתוחים, לפגוע בבתי גידול, להשחית קרקע פורייה שנוצרה בתהליך שאורך מאות אלפי שנים, ולקיים את הנאמר בשיר בוקר של נתן אלתרמן: "נלישך שלמת בטון ומלט". אבל יש לנו גם ברירה אחרת. אנחנו יכולים גם לחשוב על העתיד, מעבר לקדנציה של ממשלה זו או אחרת, ולהבין שיותר בני אדם משמעם צריכת קרקע ומשאבים רבה יותר. ולכן, אולי לא כדאי לעודד ילודה, כי המשמעות העתידית היא חיים צפופים, אפורים וקשים, עם הרבה פחות טבע. אנחנו יכולים לחשוב גם על התרומה הסביבתית שטמונה בשלום עם המדינות הסובבות אותנו, שיאפשר, מעבר לחיים טובים ורגועים יותר והפניית השקעות לרווחה ולא לכלי נשק או לבתי קברות, גם שיתופי פעולה בפרויקטים סביבתיים אזוריים, למשל אספקת מים מותפלים לירדן תמורת אנרגיית שמש (רפפורט, 2024) או שיקום משותף של רצועת עזה והנגב המערבי (רפפורט וקיביריק, 2024).

לאנשים קל לטעות לחשוב שאנחנו נזר הבריאה ושהיקום סובב סביבנו, אבל כדור הארץ היה פה לפנינו ויהיה פה אחריו. אנחנו צריכים לעשות את המעשים ולדרוש מהשלטון הווה ראוי ועתיד ראוי גם לדורות הבאים. למרות הקושי ועל אף חוסר שיתוף הפעולה של ממשלות רבות בעולם, אנחנו צריכים לזכור שאולי "אם הָיָה עוֹד כּוֹכֵב שְׁאֶפְשֵׁר לְחַיּוֹת בּוֹ, הָיִיתִי שׁוֹקֵל לְעֶזֶב", אבל בסופו של דבר, זה כוכב הלכת שלנו, ואין עוד מלבדו.

במבט ראשון נראה שהשיר 'זן נכחד' מדבר על שיבוש האקלים – "אומרים שלא היה כזה קיץ מאז המצאת מד החם", "אומרים שלא היה כזה חורף מאז ימות המבול", ועל תוצאותיו – "שורפות ענק מתלקחות בכל מקום", "קרחנו ענק בני אֵלף שָׁנָה מתאבדים וקורסים אֶל הַיָּם", אבל בקריאה נוספת מתברר שלכל הסל הזה של שיבוש האקלים נכנסות בעיות סביבתיות נוספות: זיהום האוויר – "הָאֵוִיר מְפִיחַ וּמְזַהֵם", אובדן השטחים הפתוחים – "עַל הַגִּבְעָה הַזֹּאת רַק בֶּטוֹן עֲתִיד לִפְרֹחַ", פגיעה במגוון הביולוגי והכחדת מינים – "אִם תִּשָּׂאֵר פֶּה – תִּכָּחַד כְּמוֹ עוֹד חֵיה". באמת לא תמיד פשוט להפריד בין הדברים, מה בדיוק גרם למה, אילו סוגיות קשורות ואילו נפרדות, וזאת מכיוון שכדור הארץ הוא מערכת אחת גדולה ומורכבת. העירוב הזה מצביע, בעיניי, על קושי הסברתי שלנו, העוסקים בתחום הסביבה, לעשות סדר בבעיות הרבות הקיימות, ולבנות תמונה ברורה. לכן קל לצבוע אותנו כ"מחבקי עצים" וכמי שאכפת לו יותר מחרק כלשהו מאשר מפתוח חיוני לטובת האנושות.

בחלק הראשון של השיר מתוארת תמונת מצב עכשווית, עם רמיזה להשלכות העתידיות. אין לדעת מה צופן העתיד לכל אחד ואחד מבני האדם – "מִי יָמוּת פֶּה מִן הַיָּבֶשֶׁת? מִי יִסְכֶּה בְּשֵׁטֶפּוֹן?", אבל בכל מקרה, העתיד לא טוב. התחושה היא שבעל הבית (האדם? כדור הארץ?) השתגע – "לִפְעָמִים נִדְמָה שֶׁהַקֵּטֵב אֵבֵד אֶת הַצִּפּוֹן".

בחלק השני של השיר מתואר עתיד אפוקליפטי, למי שהכיוון המצטייר בהווה לא מספיק ברור עבורו. בעתיד עליית מי הים לא תימדד במילימטרים אלא בעשרות מטרים. רוטבליט מתאר תמונה עגומה של עיר על מגדליה, שקועה כמעט כולה מתחת למים, אבודה, ורק ראשי המגדלים מבצבצים כמו שרטון, תזכורת למה שהיה פה פעם. המגדלים, דוגמה לפאר היצירה של התרבות האנושית והחריגה מגבולות האפשר (מי אמר מגדל בבל?), משוועים לאוויר, כמו התרבות האנושית כולה, שעומדת על סף הכחדה. התיאור מזכיר לי את הסונט מהמאה ה-19 של המשורר הבריטי פרסי ביש שלי, (Shelly, 1818) Ozymandias. בסונט מתואר פסל הרוס שראשו קבור בחול ומסביבו אין דבר פרט למרחבי מדבר. על ראש הפסל כתובת מפי מלך המלכים המתפאר

מקורות

רפפורט ב וקיביריק ר. 2024. שיקום מדיני-סביבתי בר-קיימא: הנגב המערבי ועזה יכולים לפרוח רק יחד. **אקולוגיה וסביבה** 15(1).

Shelly PB. 1818. *Ozymandias*.

<https://www.poetryfoundation.org/poems/46565/ozymandias>

החצר האחורית. 2024. זן נכחד. מתוך האלבום **החצר האחורית (3)**. ספוטיפיי: <https://open.spotify.com/track/6qeLo2BZsZqjhsLkcxUmum?si=S5u9eds2Tca5leJ-cVSoHg>

רפפורט ב. 2024. מים למלך: הידרו-פוליטיקה נבונה עשויה להציל את הסכמ השלום עם ירדן. מכון מיתוים – מדיניות החוץ האזורית של ישראל. **הארץ**. <https://www.haaretz.co.il/blogs/mitvim/2024-11-06/ty-article/00000192-f1a8-d8d2-a1fb-fbeeebb10000>



מפל הטחנה בנחל עיון ליד מטולה, 1965
צילום: עוזי פז, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

■ A spatial prioritization model for managing invasive plants in KKL-JNF forests

Oded Cohen ^{1*}, Dafna Shelef ², Yahel Porat ³,
Shani Gleitman ⁴, Shaked Lustgarten ¹,
Tomer Yosef ¹, Anat Idelman ⁵

Invasive plants threaten biodiversity and ecosystem services in KKL-JNF forests, with the level of threat varying among species according to their biological and ecological traits. The aim of this study was to develop a spatial prioritization model for managing invasion foci of alien plant species in KKL-JNF forests, based on invasive species' traits, their spatial distribution patterns, and the level of threat they pose to forest services across different management objectives. The model integrates nine criteria: three core variables (individual density, degree of population isolation, and forest management objectives) and six spatial adjustment variables (distance from a constant propagule source, topographic elevation, proximity to roads and trails, time elapsed since the last fire,

proximity to wet habitats, and the value of natural and landscape resources). The present study outlines the rationale underlying the model and demonstrates its outputs using Menahemya Forest as a case study. Model outputs, including spatial priority maps, were evaluated together with KKL-JNF foresters and forest engineers, who provided feedback on the relevance of the criteria in the field and on the feasibility of translating the spatial products into practical management planning. This feedback was used to calibrate and improve the model in applied terms, enabling the derivation of annual and multi-annual action plans. The model provides a robust conceptual framework for setting management priorities for invasive plants in KKL-JNF forests and, more broadly, in open landscapes. Future work will include the development of a standardized monitoring protocol accessible to foresters, forest engineers, and the wider community, as well as a dynamic management platform that will automatically integrate field observations into the model, enabling continual online optimization of management priorities.

1 Laboratory for Invasive Plants, Shamir Research Institute, University of Haifa, Katzrin, Israel

2 Dafna Shelef, shelefgis.com

3 Ecology for the Community, Israel

4 GeoTeva Environmental Consulting

5 Forest Health Division, Forestry Department, KKL, Israel

* odedic@gmail.com

The article examines the differences between natural and planted forests and emphasizes the significance of urban and peri-urban forests in ensuring public accessibility, particularly given transportation constraints to remote forest areas. Alongside these benefits, the analysis highlights negative ecosystem impacts – primarily the increasing risk of wildfires at the forest-urban interface due to climate change. In conclusion, the article calls for diligent management to maximize human benefits while mitigating environmental and human risks.

■ Forests, water and fire – developing a model for assessing the contribution of multi-functional forests to runoff regulation services and the effects of wildfire

Alon Lotan^{1*}, Yoav Peled², Lea Wittenberg²

Mediterranean forests provide a wide range of ecosystem services, including runoff regulation, flood mitigation, and soil erosion control. These services are strongly influenced by vegetation structure, canopy continuity, and soil-vegetation interactions. Consequently, forest management practices – both under routine conditions and following disturbances – play a critical role in determining the provision of these services. Wildfires represent a major disturbance in forest ecosystems and may impair the forest's capacity to regulate hydrological processes, particularly in Mediterranean regions characterized by short-duration, high-intensity rain events.

This study aimed to develop a spatially explicit model to assess the contribution of forests managed by KKL-JNF in the Jerusalem Hills to

runoff regulation services, with a particular focus on multiple-use forest units. Additionally, the study examined the impact of the August 2021 regional wildfire on this service. High-resolution land cover and vegetation mapping were conducted using a combination of remote sensing and machine learning techniques. These outputs served as inputs for runoff potential estimation using the Curve Number (CN) method within the HEC-HMS hydrological model. Streamflow data from a hydrometric station downstream of the Sorek Basin were used for model calibration and validation. Fire severity was mapped using the dNBR index and incorporated into post-fire CN adjustments.

The results indicate that the developed model reliably represents runoff potential in the study area and reveal a significant decline in the forest's runoff regulation capacity following the fire. Post-fire conditions were characterized by increased CN values, a reduced rainfall threshold for runoff generation, and the emergence of surface runoff in a small sub-catchment (4.3 km²) where no runoff events were observed prior to the fire. These findings highlight the role of dense, multi-layered forests in moderating runoff and underscore the sensitivity of hydrological responses to wildfire disturbances. Integrating remote sensing with hydrological modelling enables spatially explicit and quantitative assessment of changes in the provision of ecosystem services, providing a robust decision-support basis for sustainable forest management and climate change adaptation strategies.

1 Kadas Green Roofs Ecology Research Center, Israel

2 School of Environmental Sciences, University of Haifa, Israel

* alonlotan19@gmail.com

necessitates a shift from passive taxonomic monitoring to active, science-based management. To ensure the future of forests, this article calls for the implementation of advanced genomic tools that allow for the precise measurement of adaptive potential in space. Continuous monitoring of these indicators is essential for identifying populations at risk and establishing a network of *in situ* genetic conservation units supported by *ex situ* conservation. In conclusion, securing ecosystem services for future generations depends on our ability to transform genetic diversity into a strategic anchor in national management policy, aligning with leading global trends and recognizing genetic variation as nature's insurance policy against an unstable future.

■ Forest ecosystem services: Concepts, valuation methods, and applications in Israel

Nir Becker

Forests provide a wide range of ecosystem services essential to human well-being. These services fall into three main categories: provisioning services – the supply of tangible products such as timber, grazing, and raw materials; regulating services – processes that contribute to safe and favorable environmental conditions, including carbon sequestration, water regulation, and erosion prevention; and cultural services – the contribution of nature and landscape to recreation, education, heritage, and spiritual experience. Ecological supporting processes, such as nutrient cycling and soil formation, underpin all these services but are not considered services in themselves.

This paper reviews the principal economic valuation

methods used to quantify forest ecosystem services, ranging from market price and travel cost methods to stated preference approaches and advanced spatial tools such as InVEST. Special attention is given to the application of these methods in Israeli research and policy contexts. Case studies include the economic valuation of ecosystem services in the Carmel forest following the 2010 wildfire, carbon sequestration services in the semi-arid Yatir Forest, recreational values in northern Israeli forests, and the national-scale assessment conducted under Israel's Ecosystem and Human Well-being project (Hamaarag). The paper also examines Payment for Ecosystem Services (PES) mechanisms and their potential in the Israeli context, and discusses key challenges, including data limitations, valuation of intangible services, and the implications of climate change for future assessments. The paper argues that economic valuation of forest ecosystem services provides an essential evidence base for informed decision-making in sustainable forest planning and management.

■ Cultural ecosystem services in forests and woodlands

Yael Ram

This article reviews cultural ecosystem services in forests and woodlands, analyzing the link between nature and human well-being based on the "cascade model," which connects ecosystems, services, benefits, and values. The review details the diverse benefits humans derive from forests, including active recreation, aesthetic and spiritual values, and physiological, mental, and health-related benefits (such as forest medicine).

¹ Department of Economics and Management, Tel Hai, University of Kiryat Shmona, Israel

* nbecker@telhai.ac.il

¹ Ashkelon Academic College, Israel

* ramy@edu.aac.ac.il

English Abstracts

■ Ecosystem services in Israel: How a global concept has been integrated into national discourse

Hila Sagie^{1*}, Daniel E. Orenstein²

This article examines the concept of ecosystem services (ES) through a historical analysis of its assimilation in Israel across research, policy, management, and planning. Using Israel as a case study, we trace the development of ES and analyze its emergence, integration, and the strengths, limitations, and debates it has generated within academia, policy, and environmental and open space management discourse. The study is based on 33 in-depth interviews with key professionals, complemented by a review of policy documents and institutional materials, and aims both to understand how national contexts shape global concepts and to strengthen the capacity of researchers and practitioners to apply the ES framework more effectively in planning and management. Our findings show that the Israeli ES discourse largely reflects global trends, with similar challenges and opportunities in its adoption, but that Israel's context, characterized by limited land, high population density, and extensive arid regions, has distinctly influenced its implementation. The prominent role of key actors in promoting ES

further highlights the concept as socio-culturally constructed and shaped by local institutional and political dynamics.

■ The importance of genetic diversity in ensuring the continuity of ecosystem services provided by forest trees in Israel

Rakefet David-Schwartz^{1*}, Natasha King^{1,2}

Genetic diversity in forest trees is an integral foundation of the resilience of ecosystems and the continuity of the ecosystem services they provide. While species diversity defines the system's structure, intra-specific genetic diversity serves as the evolutionary "toolbox" that enables adaptation to extreme climate changes. Without sufficient genetic variation, tree populations lose their ability to withstand droughts and pests, leading to the collapse of the forest's regulatory, provisioning, and cultural services. Extensive genetic monitoring and conservation efforts conducted in various countries set scientific standards for managing conservation units. Israel's integration into this global effort is a strategic necessity, as it is the southern distribution limit for many species. These populations carry unique genetic traits for drought resistance, yet they suffer from fragmentation and isolation, which increase the risk of genetic erosion. This situation

1 Upper Galilee Regional Council, Israel
2 Faculty of Architecture and Town Planning,
Technion – Israel Institute of Technology, Israel
* hilasagie23@gmail.com

1 Institute of Plant Sciences, Agricultural Research
Organization, The Volcani Center, Rishon Le-Zion
7505101, Israel
2 Institute of Plant Sciences and Genetics in
Agriculture, The Robert H. Smith Faculty of
Agriculture, Food and Environment, The Hebrew
University of Jerusalem, Rehovot 76100, Israel
* rakefetd@volcani.agri.gov.il



FOREST

Journal of Forests
and Open Lands
Management

Issue No. 30 | June 2026

Editor:

Dr. Anat Madmony

Editorial Council:

Dr. Anat Madmony

Dr. Gilad Ostrovsky

Dr. Shani Rohatyn-Blitz

Editorial Board:

Dr. Oded Cohen

Dr. Rakefet David-Schwartz

Dr. Niv De-Malach

Aviv Eisenband

Avigail Heller

Asaf Karavani

Dr. Tamir Klein

Dr. Idan Kopler

Dr. Doron Markel

Prof. Zvi Mendel

Adi Noy Ivanir

Dr. Daniel E. Orenstein

Dr. Yagil Osem

Dr. Gilad Ostrovsky

Dr. Yakir Preisler

Uri Ramon

Dr. Shani Rohatyn-Blitz

Dr. Hila Segre

Prof. Efrat Sheffer

Dr. Orit Skutelsky

Dr. Michael Sprintsint

Prof. Dan Yakir

Copy and Substantive Editing:

Inbar Kimchi-Angert

English Text Editing:

Dr. Esther Lachman

Design and Graphics:

Orit Yeshayahu

Address:

"Yaar" Magazine

KKL-JNF

yaar.magazine@kkl.org.il

Publisher

Keren Kayemeth Lelsrael

Jewish National Fund

Land Development Authority

Chief Scientist

Publication Unit, Public Affairs

© Copyright

ISSN

2957-7403 (print)

2957-739X (internet)

Forest Journal Online access:

www.kkl.org.il/forest-online-journal

KKL-JNF

www.kkl.org.il

For more information

1-800-350-550

The black-and-white photographs accompanying this issue were taken by the late Prof. Uzi Paz (1935–2025), a biologist and environmental activist who was among the pioneers of nature conservation in Israel

Front cover:

Soil conservation in the Alonim Forest | Gilad Ostrovsky

Back cover (clockwise):

Tur'an Forest singletrack, 2020 | Ilan Shaham, courtesy of the KKL-JNF Photo Archive

Agen Tulip (*Tulipa agenensis*) in the Bet Keshet Forest | Gilad Ostrovsky

Shivta micro-catchment near the Nahal Shahar streambed, 2025 | Shlomi Amsalem, courtesy of the KKL-JNF Photo Archive

Traditional olive grove in the Shefer Forest | Gilad Ostrovsky

Sheep grazing, Darom Adom (Red South), 2016 | Nira Zadok, courtesy of the KKL-JNF Photo Archive

Bee pollinating eucalyptus flowers in the Ilanot Arboretum, 2014 | Yossi Zamir, courtesy of the KKL-JNF Photo Archive

TABLE OF CONTENTS

On the opening page	3
Eyal Ostrinsky	

Editorial	4
Gilad Ostrovsky	

■ Reviews

Ecosystem services in Israel: How a global concept has been integrated into national discourse	5
Hila Sagie, Daniel E. Orenstein	

The importance of genetic diversity in ensuring the continuity of ecosystem services provided by forest trees in Israel	17
Rakefet David-Schwartz, Natasha King	

Forest ecosystem services: Concepts, valuation methods, and applications in Israel	27
Nir Becker	

Cultural ecosystem services in forests and woodlands	37
Yael Ram	

■ Original Articles

Forests, water and fire – developing a model for assessing the contribution of multi-functional forests to runoff regulation services and the effects of wildfire	45
Alon Lotan, Yoav Peled, Lea Wittenberg	

A spatial prioritization model for managing invasive plants in KKL-JNF forests	57
Oded Cohen, Dafna Shelef, Yahel Porat, Shani Gleitman, Shaked Lustgarten, Tomer Yosef, Anat Idelman	

■ Opinions

Ecosystem services – how do they relate to biodiversity and to nature conservation?	69
Yehoshua Shkedy	

■ From the Field

Tree desiccation in forests – the current situation and a proposed action plan	73
Gilad Ostrovsky, Shani Rohatyn-Blitz, Shayli Dor-Haim, Hanoch Zoref, Mor Ashkenazi, Yagil Osem	

Tracing the historical sycamore belt in the Southern Coastal Plain: Landscape and land use during the Late Ottoman and Mandatory periods	80
Yuval Ben-Bassat, Roi Porat, Eliezer Baumgarten, Guy Bar-Oz	

■ Short Notes

Rehabilitation of a secondary channel of the Hevron Stream	88
Gil Siaki, Oranit Ginat	

A Forest in the heart of the city – a community in the heart of a forest	92
Talia Beker	

■ Know Your Trees

<i>Brachychiton rupestris</i> in the center of the city	96
Avigail Heller	

<i>Quercus suber</i> in the Mikveh Israel Botanical Garden	99
Hagay Yavlovich	

■ A Forest of Books

Our Common Future: World Commission on Environment and Development	102
Gilad Ostrovsky	

■ A Forest of Songs

An Extinct Species: Yaakov Rotblit	104
Inbar Kimchi-Angert	

English Abstracts	III
--------------------------	------------

FOREST

Journal of Forests
and Open Lands
Management

Issue No. 30 | June 2026



Special issue on
ecosystem services