

נועם בן-משה

המרכז לשיקום אקולוגי ופיתוח
מבוססי טבע, מוזיאון הטבע ע"ש
שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב

דורון מרקל

יחידת המדען הראשי, קק"ל

אורית סקוטלסקי

יחידת המדען הראשי, קק"ל

גלעד אוסטרובסקי

אגף הייעור, קק"ל

יהל פורת

אגף הייעור, קק"ל

תמר דיין

מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט ובית
הספר לזואולוגיה, אוניברסיטת תל
אביב

ציטוט מומלץ

בן-משה נ, מרקל ד, סקוטלסקי א
ואחרים. 2024. עקרונות יסוד
בשיקום מערכות אקולוגיות.
אקולוגיה וסביבה 15(1).



חרדון צב מצוי (Uromastyx aegyptia) ב"פארק ארץ החרדונים" צופה לעבר פארק הצפרות ובריכות המלח. שטחי מבוואות אילת הצפוניים, הממוקמים בין כביש 90 לגבול ירדן, עברו פגיעה סביבתית משמעותית לאורך השנים עקב פעילות מחצבות ומזבלות. לאחר מאמצי שיקום נרחבים האזור משמש כיום בית למגוון אתרי טבע ייחודיים ומרתקים. אוכלוסיית חרדוני הצב ב"פארק ארץ החרדונים", שהגיעה לאזור ששוקם מאזורים סמוכים, מהווה את אחד הריכוזים הגדולים והמרשימים ביותר של המין בישראל | צילום: גיל קופלוביץ

עקרונות יסוד בשיקום מערכות אקולוגיות

גיליון אביב 2024 / כרך 15(1) / שיקום ופיתוח בר-קיימא של הנגב 20 במאי, 2024

סקירות

המערבי

על קצה המזלג

- התדרדרות במצבן של מערכות אקולוגיות רבות מצריכה ביצוע מגוון פעולות שמטרתן לשקם את המערכות ולהשיב אותן לתפקוד בר-קיימא.
- בישראל תחום השיקום האקולוגי נמצא בתנופה, אך חסרים עקרונות, קריטריונים ותקנים, שיגדירו מתווה לביצוע מיטבי של פרויקטי שיקום.
- הצורך בהנחלת הידע הקיים לעוסקים בתחום ובהתאמתו למציאות הישראלית מתחדד בזמנים אלה, עת אזורי גבולות נרחבים נעשו לאזורי עימות שגם מערכות אקולוגיות נפגעות בהם.
- מאמר הסקירה מספק מסגרת עקרונות כללית להצלחת פרויקטים של שיקום אקולוגי וכן כלים לתכנון ולביצוע של פרויקטי שיקום.

מערכת אקולוגיה וסביבה

שיקום אקולוגי הוא תחום מדע-יישומי מבוסס, שמכוון להתאוששות המערכות האקולוגיות מבחינת תפקודן, שלמותן, קיימותן והסוגים הרבים של התועלת שהן מספקות לאדם. החלטת האו"ם על עשור שיקום המערכות האקולוגיות (2021–2030) והאמנה הנלווית הקוראת לשיקום 30% מהשטחים המופרים בעולם עד סוף עשור זה, מדגישות את חשיבות הנושא ואת דחיפותו. בישראל, החתומה על האמנה, מתבצעים מדי שנה פרויקטים רבים העוסקים בשיקום אקולוגי. עם זאת, התחום בישראל עדיין אינו מפותח דיו, ועומד בפני אתגרים רבים. חלק מהם נובעים מהיעדר קריטריונים ועקרונות מוגדרים לביצוע פרויקטים העוסקים בשיקום אקולוגי. במאמר זה מובאים חלק מהעקרונות וממונחי היסוד בתחום, מרביטים מוצגים בהתאם להגדרות של האגודה הבין-לאומית לשיקום אקולוגי (Society for Ecological Restoration): א. **בריאות הקרקע** כתנאי להצלחת פרויקט שיקום; ב. **שיתוף בעלי עניין רבים**, מעבר לגופים היוזמים; ג. **הגדרת מערכת ייחוס** שמהווה את החזון שהפרויקט מכוון אליו; ד. **רצף פעולות ממשק שיקומיות** משיקום אקטיבי עד לממשק מסתגל ופסיבי המבוסס על תהליכים טבעיים במערכת המשוקמת; ה. **הצבת יעדים, הגדרת מדדים וניטור** לאורך זמן לשם הערכת ההצלחה של הפרויקט או שינוי הממשק.

פתח דבר

אירועי השבעה באוקטובר והפעילות הצבאית בשטחים הפתוחים של הנגב המערבי הותירו צלקות עמוקות בנוף ובמערכות האקולוגיות העדינות באזור. נזקים גדולים נגרמים גם לשטחי טבע בצפון הארץ בשל פעילות צבאית במערכה האחרונה. בקרוב יחלו עבודות שיקום בחבל תקומה, והצלחתן חשובה לא רק לשיקום ערכי הטבע והנוף שנפגעו, אלא גם לשיקום הקהילות שחיות במרחבים האלה.

למרבה הצער, עדיין אין בישראל תקנים ברורים המגדירים מהו שיקום אקולוגי מוצלח, והתחום סובל מפערי ידע וניסיון. מצב זה מקשה על תכנון וביצוע של תהליכי שיקום יעילים, ועלול להוביל לתוצאות לא רצויות. עם זאת, המשאבים הגדולים המיועדים להיות מושקעים בשיקום חבל תקומה, מהווים הזדמנות לגיבוש תוכניות מושכלות, המחברות בין הידע המדעי ליישום בשטח ומתוכננות לטווח הזמן שנדרש לשיקום אקולוגי מיטבי.

המאמר שלפניכם מציג מסגרת עקרונות כללית להצלחת פרויקטים של שיקום אקולוגי, כפי שהוגדרה על-ידי האגודה לשיקום אקולוגי (Society for Ecological Restoration). המאמר מביא גם דוגמאות מהמציאות הישראלית. העקרונות יכולים לספק כלים חשובים למי שמעוניין לתכנן ולבצע פרויקט שיקום בצורה נכונה ויעילה. חשוב לוודא שבעת בחינת ההצעות לתוכניות השיקום בחבל תקומה יובאו עקרונות אלה בחשבון.

אחד החששות שעולים בקרב אנשי הסביבה וחברי הקהילות שנפגעו בחבל תקומה, הוא שתוכניות השיקום יכללו פיתוח מואץ והקמת תשתיות חדשות ודורסניות באזור שאופיו היה כפרי-חקלאי. עיקרון מרכזי העולה מהמאמר הוא שפרויקטים העוסקים בשיקום אקולוגי, למרות התייחסותם לצד הסביבתי, חייבים לכלול בעלי עניין רבים, ובייחוד את התושבים המקומיים, בשיתוף עם אנשי מקצוע, גופים ממשלתיים וארגוני הסביבה. עיקרון זה מדגיש את החיבור ההכרחי בין השיקום הסביבתי-פיזי לשיקום החברתי והתרבותי.



שרפה בשמורת כרמיה (ממערב לצומת יד מרדכי), אוקטובר 2023 | צילום: אמנון זיו

רקע

תחום השיקום האקולוגי רחב ומגוון, גם בשל ריבוי המערכות האקולוגיות ובתי הגידול הדורשים שיקום, וגם בשל מגוון סוגי הפגיעות וההפרות המאיימות עליהם. בעבר התמקדו רבים מהפרויקטים בתחום בנושאים מצומצמים הקשורים לשמירת טבע, כמו השבה או אישוש של אוכלוסיות צמחים ובעלי חיים שנפגעו, או שיקום נופים שנפגעו מפעילות אנושית. במקביל, התפתחו תחומים הקשורים לשיקום מקורות מים או קרקעות, בעיקר בהקשרים של חקלאות ובריאות האדם [17].

עם התקדמות המדע והבנת חשיבות תפקודן של מערכות אקולוגיות והשירותים שהן מספקות לאדם, התרחבה גישת השיקום האקולוגי גם לתחומים אלה. נוסף על כך, שינוי האקלים ושינויים סביבתיים אחרים הנובעים משינויים בשימושי קרקע העלו תהיות לגבי יכולתן של מערכות אקולוגיות פגועות להתקיים לאורך זמן ולהסתגל לתנאים משתנים.

כיום שיקום אקולוגי עוסק פעמים רבות בהיבט ההוליסטי של המערכות ומקיף מספר תחומים:

1. שלמות ביולוגית (biological integrity): מגוון המינים, בתי הגידול, הנופים ועוד.
2. תפקוד אקולוגי (ecological functionality): יצרנות ראשונית, מחזור נוטריינטים ועוד.
3. קיימות (sustainability): היכולת של המערכת להמשיך להתקיים, להסתגל ולהתפתח לנוכח שינויים סביבתיים, כמו שינוי האקלים והשפעות האדם.
4. שירותי מערכת אקולוגית (ecosystem services): התועלת המגוונת שהאדם מפיק ממערכת אקולוגית מתפקדת ושלמה, כמו שירותי האבקה וטיהור מים.

כיום התחום המדעי התומך בשיקום אקולוגי – אקולוגיה של שיקום – מבוסס ונלמד במסדות מחקר רבים. אגודות וכתבי עת בין-לאומיים, כמו האגודה הבין-לאומית לשיקום אקולוגי (SER – Society for Ecological Restoration, שהוקמה ב-1988) וכתבי העת שלה Ecological Restoration ו-Restoration Ecology, מוקדשים לקידום הידע המדעי והיישום שלו. החל משנות ה-90 עלה באופן משמעותי מספר הספרים והמאמרים המדעיים העוסקים בשיקום אקולוגי [22]. למעשה, לפעולות של שיקום אקולוגי יש תרומה משמעותית למדע, כיוון שהן משמשות מעבדה חיה ומבחן מעשי לתאוריה. דרכן ניתן לאתר פערים כאשר מתגלים כשלים בשיקום אקולוגי, או לתמוך בתאוריות ובידע הקיים.

למרות המורכבות הרבה של תחום השיקום האקולוגי והייחודיות של כל פרויקט שיקום, ישנם מספר עקרונות בסיסיים ומונחים שמתאימים לרובם המכריע של הפרויקטים, ללא קשר לסקאלה המרחבית ולסוג המערכת האקולוגית שהם עוסקים בה, ומהווים את התשתית החיונית להצלחת הפרויקט. האגודה לשיקום אקולוגי גיבשה שמונה עקרונות יסוד לביצוע שיקום אקולוגי מוצלח [16] (טבלה 1). העקרונות מתאימים לפרויקטים שנבדלים בהיקפם, במערכת האקולוגית המשוקמת ובמשאבים הזמינים. מאמר זה יתמקד בארבעה מהעקרונות, ויצג עיקרון נוסף: חשיבות בריאות הקרקע להצלחת תהליך השיקום. **עיקרון זה נגזר מניחוח של חקרי מקרה רבים בארץ ובעולם, וכן מראיונות עם למעלה מ-30 מומחים ועוסקים בתחום השיקום בישראל.**

טבלה 1. העקרונות העומדים בבסיס השיקום האקולוגי, על פי האגודה לשיקום אקולוגי (Society for Ecological Restoration – SER)

מספר עיקרון	מהות העיקרון
עיקרון 1	שיקום אקולוגי צריך לערב שלל גופים ובעלי עניין
עיקרון 2	שיקום אקולוגי מתבסס על סוגי ידע רבים ומגוונים
עיקרון 3	שיקום אקולוגי מתבסס על מערכות ייחוס אקולוגיות מקומיות, ומביא בחשבון שינויים סביבתיים
עיקרון 4	שיקום אקולוגי עוזר לתהליכי התאוששות של מערכות אקולוגיות
עיקרון 5	התאוששות המערכת האקולוגית מוערכת בהשוואה למטרות וליעדים ברורים, תוך שימוש באינדיקטורים מדידים
עיקרון 6	שיקום אקולוגי מבקש להשיג את רמת ההתאוששות הגבוהה ביותר האפשרית
עיקרון 7	שיקום אקולוגי מביא ליתרונות מצטברים כאשר הוא מיושם בקנה מידה רחב
עיקרון 8	שיקום אקולוגי הוא חלק מרצף של פעילויות ממשק שיקומיות

טבלה 1 העקרונות העומדים בבסיס השיקום האקולוגי, על פי האגודה לשיקום אקולוגי (Society for Ecological Restoration – SER)

עיקרון ראשון: קרקע בריאה היא תנאי הכרחי להצלחת שיקום אקולוגי

קרקעות הן הבסיס התשתיתי לכל המערכות האקולוגיות היבשתיות, והן מספקות לטבע ולאדם שירותים חיוניים רבים. שירותים אלה כוללים מצע לגידול מזון, מחזור מים, ויסות אקלים על-ידי אגירת פחמן דו-חמצני, ופירוק ומחזור של חומרים אורגניים^[20]. נוסף על כך, קרקעות הן גם אחד המאגרים העולמיים העיקריים של המגוון הביולוגי^[13]. מגוון זה, על שלל האינטראקציות בין המינים וסביבתם, משפיע אף הוא על היווצרות הקרקע, תכונותיה ופוריותה^[11]. פעילות האדם, כגון סוגי עיבוד נפוצים של קרקע חקלאית, ניצול יתר של צומח מעוצה ורעיית יתר, זיהומים, פעולות כרייה ועוד, גורמת לאובדן קרקעות ופוריותן בקצב מדאיג, העולה על קצב התחדשותן הטבעי^[15]. אובדן זה מהווה איום ממשי על תפקודן התקין של מערכות אקולוגיות רבות ועל המשך אספקת השירותים החיוניים שהן מספקות לאדם^[9].

מגוון הקרקעות ותכונותיהן שונה מאתר לאתר ודורש ידע והתמחות מיוחדים. במערכות אקולוגיות צחיחות וצחיחות למחצה, למשל, שיקום שטח מופר מחייב התחשבות מיוחדת בקרומים ביולוגיים. קרומים אלה, המורכבים מאצות, מחידקים ומפטריות, ממלאים תפקידים חיוניים במערכת האקולוגית הצחיחה. באזורים אלה, העניים בחומר אורגני ובצמחייה, קרומי הקרקע הם יסוד נכבד במערכת האקולוגית, ונמצאים בבסיס שרשרת המזון^[21]. הם מעשירים את הקרקע הדלה בנוטריינטים על-ידי קיבוע פחמן וחנוקן, ובכך יוצרים את התשתית לחיים בתוך הקרקע ומעליה^[27]. הקרומים מלכדים את הקרקע באמצעות הפרשה של רב-סוכרים ומונעים את שחיקתה, וכאשר מתקיים יחס מרחבי נכון בין כתמים קרומיים (תורמי נגר) לכתמים ללא קרומים, הרי שנגר, קרקע ומינרלים יישטפו פחות מהמערכת, ותתאפשר התבססות צמחים^[26]. הותרת קרקע חשופה מצומח או מקרומי קרקע מובילה להרס המבנה שלה ולאובדן השכבה העליונה, שהיא הפורייה והחשובה ביותר^[10,2]. נוסף על כך, אובדן השכבה העליונה מאפשר חדירה והתבססות של מינים זרים ופולשים^[24].



שטחי כריית פוספטים בנגב שעברו שיקום נופי, אך ללא התבססות קרומי קרקע. תמונה עליונה: קו התפר בין אזור טבעי לבין אזור שעבר שיקום באתר גוב שבקרבת נחל צין. ניתן להבחין בצבעם הכהה יותר של פני השטח המכוסים בקרומי קרקע בצד ימין, לעומת פני שטח חשופים מקרומים בצד שמאל בשטח שעבר שיקום נופי אך לא אקולוגי. תמונה תחתונה: חריצת פני השטח עקב התחתרות מים באזור שעבר שיקום נופי. ללא קרומי קרקע, פני השטח נתונים לתהליכי בליה וסחיפה מואצים | צילום: טליה גבאי

סקירת חקרי מקרה שונים של שיקום אקולוגי בישראל מצביעה על אתגרים רבים בהצלחת תהליך השיקום הקשורים לבריאות הקרקע ולתפקודה. דוגמאות לאתגרים האלה ניתן למצוא בשטחי כרייה של פוספטים בנגב: למרות שיקום נופי משמעותי, קרומי הקרקע לא התאוששו ברוב האתרים שנדגמו, והשטח נשאר עקר גם שנים לאחר פעולות השיקום^[15]. דוגמה נוספת היא דליפת הנפט בשמורת עברונה בערבה בשנת 2014: בקרקעות שזוהמו בזרימת נפט מדליפה קודמת 40 שנה קודם לכן, לא נצפתה כלל נביטה של עצי שיטה, שהם מין מפתח

בשמורה^[18]. בעקבות זאת, הוחלט להוציא קרקעות שזוהמו בנפט מהשמורה, כחלק מפעולות השיקום. הקרקע ממלאת תפקיד מרכזי גם בשיקום נחלים: בפרויקט פיילוט לשיקום שפך נחל שורק נמצא שבגדות הנחל לא הייתה כלל צמחייה בשל הצטברות של קוטלי עשבים. במסגרת פעולות השיקום של צמחיית הגדות נדרש טיהור יסודי של הקרקע ממהמים^[5] לעומת זאת, במקרה של פרויקט אגמון החולה, הפכה קרקע הכבול השרופה למשקע המאפשר יחסי משקע-מים תקינים בשטח שהוצף מחדש^[6]. לפיכך, חקר קרקע באתרי שיקום חיוני פעמים רבות להצלחת הפרויקט. הבנת מצב הקרקע ותפקודה תאפשר תכנון וביצוע יעילים, תוך התאמת טכניקות שיקום למאפיינים הייחודיים של האתר.

עיקרון שני: שיקום אקולוגי צריך לערב שלל גופים ובעלי עניין

לבעלי העניין תפקיד מכריע בהצלחת פרויקט – או בכישלונו. זיהוי הציפיות והאינטרסים של בעלי העניין ועירובם הישיר בתהליך הוא המפתח להבטיח שגם הטבע וגם הקהילה ירוויחו מן המהלך. בעלי העניין יכולים לעזור בקביעת סדר העדיפויות לפעולות השיקום בשטח, לקבוע יעדים לפרויקט ולהגדיר את רמת ההתאוששות הרצויה, לתרום מהידע האישי ומההיכרות המקומית עם נתוני הסביבה ובכך גם לעזור להגדיר את מערכת הייחוס, ובהמשך הפרויקט – אף להשתתף בפעולות השיקום והניטור. נוסף על כך, בעלי עניין יכולים לספק תמיכה פוליטית וכלכלית לפרויקט לאורך זמן, ולסייע בפתרון קונפליקטים ואי-הסכמות, אם הם מתעוררים. זיהוי הגורמים השונים המעורבים בבעלות על השטח ובניהולו, התושבים השכנים לשטח ומנהלי השטחים הסמוכים לו, חיוניים להשגת יעדים אלה. מסיבה זו, מנהלי פרויקטים של שיקום צריכים לקיים קשר פעיל ובלתי אמצעי עם מי שחיים או עובדים בתוך אתרי השיקום או בקרבתם, ועם כל מי שיש להם עניין בערכי הפרויקט (כמו ארגוני סביבה, או אנשי מדע) ובהון הטבעי הקשור אליו (ובכלל זה – שירותי המערכת האקולוגית).

באופן אידיאלי, הקשר עם בעלי העניין יחל כבר בשלב גיבוש הפרויקט, הרבה לפני תחילתו בפועל, כך שבעלי העניין יוכלו לתרום להגדרת החזון, המטרות, היעדים והשיטות לביצוע הפרויקט ולניטורו. ההשתתפות של בעלי העניין צריכה להימשך לאורך כל תקופת הפרויקט. הדבר יתרום לעמידה בציפיות, לבניית יכולת וליצירת תחושת שותפות, וישמר את התמיכה ואת אפיקי התקשורת. בניית האמון וכינון דיאלוג משותף בין כל בעלי העניין תחזק את הכבוד לנקודות מבט שונות ולסוגי ידע שונים, ותשמר את העניין והמחויבות לאורך כל שלבי הפרויקט. לכן, כבר בשלבי תכנון פרויקט השיקום יש לזהות – לצד היעדים האקולוגיים – גם יעדים הקשורים לרווחה חברתית ואנושית.



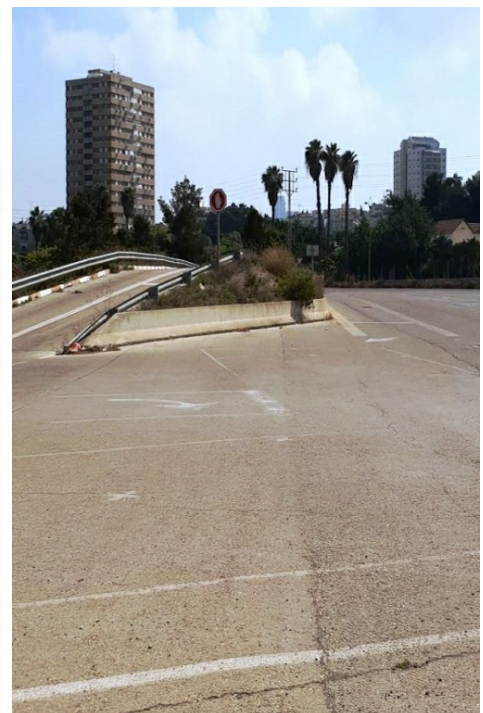
ערך בשמורת עברונה בערבה שזוהם בנפט בדליפה בשנת 1974. התמונה צולמה ב-2021 לאחר שיטפונות בשמורה. ניתן לראות את כתמי הנפט הכהים על הקרקע גם כ-50 שנה לאחר אירוע הדליפה. הקרקע המזהמת אינה מאפשרת למי השיטפונות לחלחל ולהזין את אקוות השמורה. כמו כן, ניתן לראות שגם שנים לאחר הזיהום אין נביטה והתבססות של צמחים על הקרקע המזהמת, וזאת בניגוד לצמחייה בגדות או בקטעי הערוץ שאינם מזהמים | צילום: ניצן שגב

עיקרון שלישי: שיקום אקולוגי מתבסס על מערכות ייחוס אקולוגיות מקומיות, ומביא בחשבון שינויים סביבתיים

פרויקט שיקום של מערכת אקולוגית מוגדר בהתאם למערכת ייחוס שמהווה את "חזון השיקום", שלאורו ניתן להציב מטרות ויעדים בקרב בעלי העניין והעוסקים בפרויקט. מערכת הייחוס המיטבית היא זו שמייצגת את המאפיינים של המערכת האקולוגית לפני שנפגעה ומצבה התדרדר. האפיון וההגדרה של מערכת הייחוס יכולים להתבצע, למשל, על סמך נתונים של מערכת באזור גאוגרפי סמוך שלא נפגעה במידה רבה, או לפי נתונים היסטוריים של מאפייני אתר השיקום [25]. הגדרת מערכת ייחוס היא תהליך מורכב וסובייקטיבי. היא עשויה להשתנות גם בהתאם להשקפה של הגופים השונים המנהלים את השטח ובהתאם למטרות השיקום שהוגדרו על ידם. במקומות רבים, המערכות האקולוגיות עוצבו והתפתחו בהתאם למשטרי הפרעה אנושיים שהשתנו באופיים ובעוצמתם לאורך אלפי שנים [7]. לכן, מקובל לעיתים להתייחס למצב שבו אין אתרי ייחוס בלתי מופרים, והתחליף הוא להגדיר מאפיינים ורכיבים של מערכות אקולוגיות דומות מהאזור, שנפגעו פחות מאחרות [14, 23].

עם זאת, חשוב להימנע משימוש במערכת ייחוס באופן שמקבע מערכת אקולוגית בנקודת זמן ספציפית. אחת התכונות המהותיות של מערכות אקולוגיות היא שהן דינמיות ומשתנות לאורך זמן. יתרה מכך, גם התנאים הסביבתיים בשטח עשויים להיות שונים מאלה ששררו בו בעבר. על כן, יש לפתח מודלי ייחוס תוך התמקדות ברורה ומפורשת בהבנת הדינמיקות העתידיות כדי לפתח תוכניות שיקום ריאליות ורלוונטיות שיאפשרו למינים המקומיים להתאושש, להסתגל, ולהתפתח ולחברת המינים להתארגן מחדש. למרות המורכבות בהגדרת מערכת ייחוס נאותה, ישנם רכיבים מהותיים בשיקום – כמו מינים או תפקודים שנפגעו – שניתן להגיע להסכמה רחבה לגביהם; למשל, תנאי בסיס לשיקום נחלים יהיה תמיד איכות המים וכמותם [19].

נוסף על כך, מערכת הייחוס צריכה להיות מציאותית. במקרים מסוימים מצב המערכת האקולוגית שנפגעה מדורדר במידה שלא ניתן להשיב לה את מאפייניה המקוריים. במצבים אלה מערכת הייחוס לשיקום אינה המערכת שהייתה קיימת לפני הפגיעה, אלא מערכת שתתפקד באופן טבעי וטוב יותר לאחר השיקום בהשוואה למצב הנוכחי, למשל – שטח שעבר כרייה ולא ניתן לשחזר בו את המערכת האקולוגית המקורית, אך ניתן לשקם בו מינים מקומיים. דוגמה לכך היא פארק "ארץ החרדונים" באילת, באתר ששימש לפני כן לכרייה ובהמשך נעשה אתר פסולת. המחפורות שנוצרו בשטח לאחר פינוי הפסולת ופעולות שיקום שערכה קרן קימת לישראל, הפכו עם השנים לבית גידול לאוכלוסייה גדולה של חרדוני צב – אחד ממיני הזוחלים הגדולים והמרשימים בישראל (ראו תמונה בראש המאמר). דוגמה נוספת היא שיקום שטח ששימש מגרש חניה בחולון ליצירת בריכת חורף. במקרה זה, השיקום כלל יצירת בית גידול חדש שלא היה קיים בשטח לפני כן, אך בשטחים הסמוכים לו התקיימו בריכות חורף שנפגעו ונעלמו במהלך פיתוח העיר. המערכת האקולוגית החדשה, הגם שאינה בדיוק באתר המקורי, תומכת במגוון מינים מקומיים שחלקם נדירים ובסכנה וזאת במקום שטח השטח המופר שהיה לפני כן ובערכיות אקולוגית נמוכה.



יצירת בריכת חורף בשטח ששימש קודם לכן מגרש חניה בחולון (משרד הרישוי). בריכה זו ממוקמת סמוך לבריכות חורף טבעיות שהתקיימו בעבר באזור, אך צומצמו ואף נעלמו בשל פיתוח עירוני. פרויקט השיקום משמש גם פתרון מבוסס טבע לאגירת נגר עילי ולמניעת הצפות בשכונות המגורים המקיפות את האתר. מימין – מראה האתר לפני יצירת בריכת החורף; משמאל – בריכת החורף לאחר הקמתה ופיתוח הצמחייה סביבה | תכנון נופי אקולוגי וצילום: ליאב שלם

עיקרון רביעי: שיקום אקולוגי נמצא ברצף של פעילויות ממשק שיקומיות

שיקום אקולוגי הוא רק פעולה אחת מתוך "משפחה" של פעולות שיקומיות שניתן לתארן כרצף. אומנם על הרצף הזה ההבדלים בין פעולה אחת לאחרת מזעריים, אולם הפער בין הפעולה הבסיסית ביותר לפעולה המתקדמת ביותר משמעותי מאוד. פעולת שיקום היא פעולה התומכת – במישרין או בעקיפין – בהשבה של מאפיינים סביבתיים, אקולוגיים או ביולוגיים או בתכונות של המערכת האקולוגית שאבדו או נפגעו.

מבחינה רעיונית, רצף השיקום (איור 1) מציע גישה הוליסטית לאישוש מערכות אקולוגיות, ומאפשר לאנשי השטח לבחור בטיפולים האפקטיביים ביותר בהינתן התנאים האקולוגיים, החברתיים והכלכליים (מבחינת ההזדמנויות והאילוצים). רצף השיקום נוטע את הפעולות השונות בתוך הקשר, מאפשר לנו להבין כיצד הן קשורות זו לזו, ומסייע לזהות את הפרקטיקות המיטביות בהקשרים שונים. הרצף כולל ארבע קטגוריות עיקריות של פרקטיקות משקמות:

- 1. הפחתת ההשפעות האנושיות** (reducing social impacts) – למשל על-ידי אסדרה של שימושי קרקע או פעילויות אנושיות עם פוטנציאל פגיעה בסביבה – בחקלאות, במרעה, בדיג וכדומה.
- 2. ניקוי וטיהור של המערכת האקולוגית** (remediation) – טיפול במפגעים ובחסמים שדרדרו את המערכת האקולוגית – למשל: ניקוי הקרקע ממהמים, הסרת חסמים פיזיים כגדרות או סכרים, טיפול במינים פולשים.
- 3. השבת תפקודים** ("החלמה" rehabilitation) – הכוונת מערכת אקולוגית פגועה לעבר מצב משופר ומתפקד לאורך זמן, תוך התחשבות במגבלות קיימות, כמו אילוצים סביבתיים או תקציביים שאינם מאפשרים להחזיר את המערכת לקדמותה. פעולות הממשק מוכוונות להחזיר רמה מסוימת של תפקוד אקולוגי, ולא דווקא שחזור של המגוון הביולוגי או של כל המאפיינים הקודמים של המערכת האקולוגית שנפגעה. דוגמאות לכך הן השבת מים חלקית לנחל, שמעיינותיו נשאבים והתייבש, שמאפשרת קיום מינים מסוימים הדורשים משטר זרימה של מים לאורך כל השנה; או שיקום צומח בשטח שעבר כרייה כדי למנוע סחיפת קרקע או כדי להעלות את היצרנות (למשל לצורכי רעייה). לרבים מהתפקודים האלה של המערכות האקולוגיות יש תועלת לאדם, וכלל סוגי התועלת מכונה "שירותי המערכת האקולוגית". חלק מהפעולות שנכנסות לקטגוריה זו של השבת תפקודים, שיעדן הוא שיקום או העצמה של תפקוד שמועיל לאדם, הן "[פתרונות מבוססי טבע](#)"^[1]. חשוב לציין שמטרתו העיקרית של פתרון מבוסס טבע היא לשקם את התפקוד של המערכת האקולוגית, ולא בהכרח להחזיר אותה למצבה המקורי מבחינת מגוון המינים ושלמותה. לדוגמה, פעולות היעור של קק"ל בשטחים ממודברים, מיועדות, בין היתר, לשיקום היחס המרחבי בין השטחים תורמי הנגר (כתם קרום קרקע) ומקבלי הנגר (כתם שיחני). הפעולות האלה יעילות לעצירת תהליכים הרסניים כסחיפת קרקע והיעלמות הצומח המעוצה^[3,4], אך הרכב חברות החי והצומח שמתקיים בשטחים האלה שונה מההרכב שאפיין את המערכת האקולוגית המקורית באתר (מינים ים תיכוניים מחליפים חלק מהמינים המדבריים)^[8]. פרויקט הצפת אגמון החולה, שהחל בשנת 1994, נועד לתקן את הנזקים הסביבתיים שנגרמו מייבוש האגם והביצות בשנות ה-50 של המאה הקודמת. הייבוש גרם לפגיעה קשה במערכת האקולוגית של האזור, הוביל לירידה בפוריות אדמות הכבול, ואף גרם לזיהום הכינרת. כיום אתר הטבע שנוצר מספק בית גידול חיוני למגוון עשיר של צמחים ובעלי חיים, גם אם רבים ממאפייניו שונים מאלה שהתקיימו בשטח לפני הייבוש^[6].
- 4. שיקום פסיבי-אדפטיבי** (מסתגל) – בשלב זה פעולות השיקום האקטיביות מצטמצמות בהדרגה מתוך הנחה **שניתן להסתמך בעיקר על תהליכים טבעיים** של התאוששות וסוקצסיה להשלמת שיקום המערכת האקולוגית, ולכן שלב זה מכונה גם שלב "**השיקום האקולוגי**". הפעולות העיקריות הנעשות בשלב זה הן פעולות ממשק אדפטיבי ותחזוקה מלוות בניטור.

איור 1. סכימה של סדר פעולות שיקומיות לאורך רצף קטגוריות של התאוששות אקולוגית (מעובד מתוך Gann et al., 2019)^[16].

שיקום מערכת אקולוגית כולל רצף פעולות ממשק שיקומיות המכוונות להתאוששות המערכת ברמות שונות. הרצף מתחיל מפעולות ממשק אקטיבי, וככל שרמת שיקום המערכת עולה, השיקום מתבסס יותר על תהליכים טבעיים והממשק נעשה אדפטיבי יותר. עלייה ברמת השיקום מלווה לרוב בעלייה במגוון המינים, בתפקודי המערכת האקולוגית ובשירותיה. ככל שהפגיעה קשה יותר, או ככל שרמת השיקום ששואפים להגיע אליה גבוהה יותר – השיקום יהיה מורכב יותר, ומשכו יהיה ארוך יותר. הסכמה מתארת רצף אפשרי של פעולות שיקום, עד שיקום מלא – כאשר אין אילוצים סביבתיים, כלכליים וחברתיים, שמגבילים את רמת השיקום המתאפשרת.



איור 1
סכימה של סדר פעולות שיקומיות לאורך רצף קטגוריות של התאוששות אקולוגית (מעובד מתוך Gann et al., 2019)^[16]

שיקום מערכות אקולוגיות כולל רצף פעולות ממשק שיקומיות המכוונות להתאוששות המערכת ברמות שונות. הרצף מתחיל מפעולות ממשק אקטיבי, וככל שרמת שיקום המערכת עולה, השיקום מתבסס יותר על תהליכים טבעיים והממשק נעשה אדפטיבי יותר. עלייה ברמת השיקום מלווה לרוב בעלייה במגוון המינים, בתפקודי המערכת האקולוגית ובשירותיה. ככל שהפגיעה קשה יותר, או ככל שרמת השיקום ששואפים להגיע אליה גבוהה יותר – השיקום יהיה מורכב יותר, ומשכו יהיה ארוך יותר. הסכמה מתארת רצף אפשרי של פעולות שיקום, עד שיקום מלא – כאשר אין אילוצים סביבתיים, כלכליים וחברתיים, שמגבילים את רמת השיקום המתאפשרת.

ניתן לדמות במידה מסוימת את תהליך השיקום של מערכת אקולוגית לטיפול בפצע שנפגע מגורם חיצוני (למשל שרפה). ככל שמצבו של הפצע קשה יותר, כך יידרשו אמצעי התערבות משמעותיים יותר מבחינת משאבים, עצימות הטיפול והזמן הנדרש. בשלב הראשון יש לחלץ את האדם ולהגן עליו מנזקים נוספים. בשלב השני יש לטפל בגורם ההשפעה, כך שלא יפגע בו עוד. לאחר מכן, יש לייצב את מצבו ולהשיב לו תפקודים בסיסיים. בשלב מסוים ניתן לשחרר את החולה לביתו להמשיך שיקום עצמאי, תוך מעקב. השיקום המלא מושג כאשר האדם חוזר לתפקוד גבוה, וההתערבות החיצונית מצטמצמת לבקרה עיתית ולפעולות תחזוקה למניעת התדרדרות.

ראוי לציין שרצף השיקום המתואר עלול להשתנות בהתאם לאילוצים סביבתיים, כלכליים וחברתיים – ובמקרים רבים הפרויקטים אינם מוכוונים לשיקום אקולוגי מלא או שאינם יכולים להגיע אליו.

עיקרון חמישי: התאוששות המערכת האקולוגית מוערכת בהשוואה למטרות וליעדים ברורים, תוך שימוש באינדיקטורים מדידים ובפעולות ניטור

תהליכי שיקום אקולוגי מתאפיינים לרוב במשך זמן משמעותי. על כן, קיים פער זמן ניכר בין תחילתם לבין התאוששות מלאה של המערכות האקולוגיות והגעתן למצב שהן מעוצבות באופן טבעי בכיוון הרצוי. לפיכך, **פרויקט שיקום אקולוגי מחייב הגדרת יעדים ברורים, הניתנים לכימות ולמדדה.** היעדים האלה יאפשרו הערכה של כיוון ההתאוששות (אם היא אכן בכיוון הרצוי), קצב התהליך ומידת ההצלחה. ניטור וניתוח של המדדים לאורך זמן יאפשרו את התאמת הממשק הרצוי, ואף יבהירו, במידת הצורך, אם יש צורך בשינוי חלק מהיעדים המקוריים, תוך יצירת ציפיות ריאליות.

לצורך הערכת התקדמות פרויקט שיקום אקולוגי יש להגדיר לכל יעד את הפרמטרים הבאים (מטרת ההפרדה בין הסעיפים היא להדגיש את הנושא, הנעדר פעמים רבות משלב התכנון של פרויקטים):

- מהם האינדיקטורים שיימדדו. יש לוודא שהאינדיקטורים אכן מייצגים את מצבה האקולוגי של המערכת (לדוגמה: אחוז הכיסוי של מיני צמחים מקומיים);
- התוצאה הרצויה (לדוגמה: עלייה, ירידה או שמירה על אחוז הכיסוי);

3. היקף התוצאה הרצויה (לדוגמה: עלייה של 40%);
 4. מסגרת הזמן והקצב להשגת התוצאה הרצויה (לדוגמה: תוך חמש שנים).

חשוב להגדיר את החזון, המטרות, היעדים והמדדים של פרויקט שיקום אקולוגי כבר בשלבי התכנון הראשוניים. הגדרה זו צריכה לכלול גם תכנון של פעולות הניטור הנדרשות להערכת התקדמות הפרויקט, משך הזמן שיידרש להן, והערכה של תקציב עבורן. הניטור מתחיל עוד לפני ביצוע פעולות השיקום כדי להעריך את מצב הבסיס של האינדיקטורים, שעל פיו אפשר למדוד את השינויים במהלך הפרויקט.

סיכום

עקרונות הבסיס לשיקום אקולוגי, שחלק מהם הצגנו במאמר זה, מאפשרים יצירת מערכת עבודה מוגדרת עבור העוסקים בתחום. העקרונות כלליים ומתאימים לתכנון, לביצוע ולייזום של טווח רחב של פרויקטים, ללא קשר להבדלים הנובעים מהיקף הפרויקט, מהתקציב, מאופי המערכת שתשוקם ומהפעולות הספציפיות הנדרשות. עם זאת, לצד העקרונות האלה יש להכיר בכך שכל פרויקט שיקום מחייב התייחסות ספציפית ומותאמת אישית, תוך שימוש בידע, במומחיות ובניסיון ייחודיים. שיקום מערכות אקולוגיות, הכולל מגוון רחב של מערכות, סוגי פגיעות ודרכי שיקום, נמצא עדיין בהתפתחות מתמדת כתחום ידע – בישראל וברחבי העולם.

כדי להתמודד עם האתגרים האלה ולקדם את התחום בישראל הוקם לאחרונה "המרכז לשיקום אקולוגי ופתרונות מבוססי טבע" – יוזמה חדשה למרכז ידע של הקרן הקימת לישראל ומוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט. המרכז מפתח בימים אלה חוברת הדרכה המבוססת על העקרונות והסטנדרטים שהתוותה האגודה הבין-לאומית לשיקום אקולוגי. החוברת תכיל עקרונות נוספים, ותכלול לקסיקון ראשון בעברית עבור העוסקים בתחום השיקום האקולוגי. העקרונות והמונחים הם בסיס ליצירת שפה משותפת בתחום שעוסקים בו גורמים רבים המגיעים מעולמות תוכן שונים (אנשי מדע מתחומים מגוונים, גופים מנהלי שטח, מתכננים, קבלנים ועוד) ונדרשים לחיבור עם הסטנדרטים העולמיים בשיקום ובשימור של מערכות אקולוגיות.

מקורות

1. אגוזי ר. 2021. [פתרונות מבוססי טבע – סל כלים לטובת ניהול סיכונים הצפה](#). אקולוגיה וסביבה 12(3): 49–58.
2. אטינגר ע, מאור א, אשל ג ואחרים. 2023. הקרקע – חשיבותה, מאפייניה ואתגריה מרכזיים. בתוך: גרינהוט צ, פוקס א ולאורי י (עורכים). [ניהול בר קיימא של משאבי קרקע, מים וממשקים עם הסביבה – מסמך מדיניות](#).
3. ברנד ד, משה י ושחק מ. 2015. שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות בצפון הנגב – נייר עמדה.
4. דור-חיים ש, ברנד ד, משה י ושחק מ. 2023. [שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות ומוגבלות מים בתחנת מחקר ארוך טווח פארק סיירת שקד](#). יער 24: 44–50.
5. מורן א. 2014. [פיילוט לשיקום אקוהידרולוגי בשפך נחל השורק](#). מוגש לחטיבת המדע ברשות הטבע והגנים על-ידי "מורן ייעוץ ופיתוח".
6. מרקל ד. 1998. ביוגיאוכימיה של ביצות (Wetlands) מהאברגליידס בפלורידה לעמק החולה בישראל. [אקולוגיה וסביבה](#) 5(1): 3–9.
7. פרבולוצקי א. 1992. החורש הים-תיכוני: רקע כללי – סיכום ספרות. תל-אביב-יפו: החברה להגנת הטבע.
8. רותם ג, בוסקילה ע ורוטשילד א. 2013. [השפעות אקולוגיות של הייעור בנגב הצפוני ובדרום הר חברון](#). החברה להגנת הטבע.

- century. *Science* **348**(6235): 1261071.
10. Batjes NH. 1996. [Total carbon and nitrogen in the soils of the world](#). *European Journal of Soil Science* **47**: 15–16.
 11. De Deyn GB and Kooistra L. 2021. [The role of soils in habitat creation, maintenance and restoration](#). *Philosophical Transactions B* **376**: 20200170.
 12. 2015. Status of the World's Soil Resources.
 13. FAO, ITPS, GSBI, SCBD, and EC. 2020. State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities.
 14. Feio MJ, Aguiar FC, Almeida SFP, et al. 2014. [Least disturbed condition for European Mediterranean rivers](#). *Science of the Total Environment* **476**: 745–756.
 15. Gabay T, Rotem G, Gillor O, and Ziv Y. 2022. [Understanding changes in biocrust communities following phosphate mining in the Negev Desert](#). *Environmental Research* **207**(4): 112200.
 16. Gann GD, McDonald T, Walder B, et al. 2019. [International principles and standards for the practice of ecological restoration](#) (2nd). *Restoration Ecology* **27**(S1): S1–S46.
 17. Jordan WR and Lubick GM. 2011. Making nature whole: A history of ecological restoration. Society for Ecological Restoration. Island Press.
 18. Nothers M, Segev N, Kreyling J, et al. 2017. [Desert vegetation forty years after an oil spill](#). *Journal of Environmental Quality* **46**(3): 568–575.
 19. Palmer MA, Hondula KL, and Koch BJ. 2014. [Ecological restoration of streams and rivers: Shifting strategies and shifting goals](#). *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **45**: 247–269.
 20. Pereira P, Bogunovic I, Muñoz-Rojas M, et al. 2017. [Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management](#). *Current Opinion in Environmental Science and Health* **5**: 7–13.
 21. Shachak M and Steinberger Y. 1980. An algae – Desert snail food chain: Energy flow and soil turnover. *Oecologia* **41**: 402–411.
 22. Shen Z, Tian Y, Yao Y, et al. 2023. [Ecological restoration research progress and prospects: A bibliometric analysis](#). *Ecological Indicators* **155**: 1470–160.
 23. Stoddard J, Larsen D, Hawkins C, et al. 2006. Setting expectations for the ecological condition of streams: The concept of reference condition. *Ecological Applications* **16**(4): 1267–1276.
 24. Theoharides KA and Dukes JS. 2007. [Plant invasion across space and time: Factors affecting nonindigenous species success during four stages of invasion](#). *New Phytologist* **176**(2): 256–273.
 25. van Alden J and Aronson J (Eds). 2012. Restoration ecology: The new frontier (2nd). Wiley.
 26. Veste M, Breckle S, Eggert K, and Littmann T. 2011. [Vegetation pattern in arid sand dunes controlled by biological soil crusts along a climatic gradient in the Northern Negev desert](#). *Basic and Applied Dryland Research* **5**(1): 1–16.
 27. Zaady E, Groffman P, and Shachak M. 1998. Nitrogen fixation in macro- and

microphytic patches in the Negev desert. *Soil Biology and Biochemistry* **30**(4): 449–454.

קריאה נוספת

מסמך קצר וקל לקריאה של האגודה לשיקום אקולוגי (SER), המסביר מונחי יסוד בתחום השיקום האקולוגי ובהבדלים בין שיקום אקולוגי ופעולות שיקומיות אחרות העוסקות בסביבה.

Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. 2004. [The SER International Primer on Ecological Restoration](#).

ספר העוסק בפרקטיקה ובמדע של שיקום אקולוגי. מתאים בעיקר לסטודנטים ולחוקרים באקדמיה. מכיל דוגמאות רבות מאירופה.

Van Andel J and Aronson J (Eds). 2012. [Restoration ecology: The new frontier](#) (2nd ed.). Wiley Publishing.

סיפורים אישיים של עמוס ברנדייס – אדריכל נוף ומתכנן ערים שעוסק רבות בפרויקטים סביבתיים כולל שיקום נחלים. מציג בעיקר את הצדדים האנושיים המורכבים (והמשעשעים לעיתים, כפי שמוצגים בספר) בפרויקטים כאלה. הספר מדגיש את חשיבות העיקרון של שיתופי פעולה רחבים ושילוב בעלי עניין רבים בפרויקטים של שיקום.

ברנדייס ע. 2023. [על נחלים ואנשים – על חוויות, סיפורים וסודות מתכנן פרויקטים סביבתיים בארץ, בעולם ובשיתוף פעולה ישראלי-פלסטיני](#). הוצאה עצמאית.