



שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות ומוגבלות מים בתחנת מחקר ארוך טווח פארק סיירת שקד

שילי דור-חיים^{1,2*} | דוד ברנד³ | יצחק משה⁴ | משה שחק²

- 1 מו"פ מדבר וים המלח
- 2 המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
- 3 אגף הייעור, קק"ל, בעבר
- 4 מרחב דרום, קק"ל, בעבר
- * shaylidh@post.bgu.ac.il

תקציר

תפקודי המערכת האקולוגית במצבים שונים; ב. איתור גורמים המובילים לדרדור המערכת; ג. שיקום תפקודי: שינוי מצב הנוף ממדורדר למתפקד; ד. ניטור השפעת השיקום והערכת הצלחתו במונחים של שירותי מערכת אקולוגית. ארבעת השלבים שפורטו מאפשרים שיקום תפקודי החיוני לקיום מערכות אקולוגיות בתקופת האנתרופוקן.

תחנת המחקר ארוך הטווח בפארק סיירת שקד הוקמה בשנת 1997 על ידי קק"ל בצפון הנגב. ממצאי התחנה הובילו לרעיון וליישום של שיקום תפקודי, כלומר להתמרה של מערכת העוברת תהליכי מדבור למערכת אקולוגית מתפקדת המשחזרת את התפקודים העיקריים הראשוניים שלה: זרימת אנרגיה ומחזור יסודות. שיקום מסוג זה מתאים למערכות אקולוגיות מופרות, למשל באזורים מוגבלי מים, שגם שיקום שלהם לא יחזיר את המערכת למצבה המקורי.

מאמר זה מציג מודל של התהליכים שמשפיעים על תפקודי מערכת אקולוגית שמוגבלת במים, שפותח על בסיס מחקרים שנעשו בתחנת LTER פארק סיירת שקד. הפארק משמש מודל לשיקום תפקודי, ומאפשר לזהות השפעות אנושיות על המערכות האקולוגיות של הנגב, שגורמות למדבור ולאובדן נרחב של תפקודים ושירותים של המערכת האקולוגית. על סמך המודל פיתחנו עקרונות מנחים לשיקום תפקודי של נופים מדורדרים. העקרונות המנחים כוללים ארבעה שלבים עוקבים: א. זיהוי תהליכים בסיסיים המווסתים את

מילות מפתח

התפתחות מערכת אקולוגית, יחסי מקור-מבלע, מבנה ותפקוד של המערכת האקולוגית, מערכת אקולוגית חדשנית, שיקום אקולוגי

מבוא

עשבוניים. שינויים בשימושי הקרקע בנגב (חקלאות ורעייה) גרמו להפחתה בכמות השיחים והעשבוניים ולעלייה בכיסוי קרומי הקרקע הביולוגיים. קרום הקרקע הביולוגי מתפשט ככל שהשטח המכוסה בצמחייה מעוצה יורד. התפשטות קרומי הקרקע מקטינה את חידור המים לקרקע, וכך גדל הנגר העילי שגורם לאובדן מים מהמערכת האקולוגית. תהליכים אלה מפחיתים את הייצור הראשוני והשינוי במדרונות ומשנים את תפקודם למדרונות שהמשאבים בהם מתמעטים (resources leakage). הזרימה החזקה גורמת לשיטפונות הפוגעים בצמחייה בגדות הוואדי ומגבירים את סחיפת הקרקע למורד הוואדי (Avni et al., 2006) (ראו ריאיון עם חיים סהר בגיליון זה).

כאמור, פעילות אנושית בעבר ובהווה גרמה לשינויים בנופי מדבר הנגב. לכן, התמקדות בחקר התהליכים העיקריים השולטים בתפקודי המערכת, כגון זרימת מי נגר מנקודת המקור לנקודת המבלע ויחסי מקור-מבלע (source-sink) יכולים לסייע בהבנת תפקודי המערכת ובדרכים לשיקומה (Peters et al., 2020). תהליכים אלה גורמים לחלוקת משאבי המים בין כתמי צמחייה עשירים במים וכתמים של קרומי קרקע העניים במים. כך מתאפשרת היווצרות פסיפס נוף, הקובע את התפקוד והמצב של המערכת האקולוגית (Collins et al., 2014).

המחקרים שנערכו בפארק סירת שקד אפשרו את זיהוי הקשרים בין הכתמים השונים בנוף ואת חלוקת משאבי המים ביניהם ובהתאמה בחנו את הפוריות, את המגוון הביולוגי ואת הייצור הראשוני והשינוי (Hoekstra and Shachak, 1999). התובנות שעלו מתוצאות המחקרים אפשרו לכתח מודל מושגי כללי של התהליכים הבסיסיים המווסתים את התפקודים במערכות אקולוגיות מוגבלות מים. כמו כן, המודל מספק אמצעי לזיהוי השפעות אנושיות על המערכות האקולוגיות של הנגב, השפעות שגורמות למדבור ולאובדן נרחב של תפקודים (יצרנות ומגוון ביולוגי) ושל שירותי ויסות (כגון ויסות שיטפונות וסחיפת קרקע) ואספקה (כגון מרעית לצאן) במערכת אקולוגית זו. כדי לאפשר שימוש במודל לשם שיקום המערכת פיתחנו עקרונות מנחים לשיקום תפקודי של נופים מדורדרים. העקרונות המנחים כוללים ארבעה שלבים עוקבים: א. זיהוי התהליכים הבסיסיים המווסתים את תפקודי המערכת האקולוגית במצבים שונים; ב. איתור המניעים (drivers) המובילים למצבי דרדר; ג. שיקום תפקודי: שינוי מצב הנוף ממדורדר למתפקד; ד. ניטור השפעת השיקום והערכת הצלחתו במנחים של שירותי מערכת אקולוגית.

מאמר זה מסנתז את המחקרים שבוצעו בתחנת פארק סירת שקד וסביבתה ושהובילו ליישום העקרונות המנחים של שיקום תפקודי במערכות האקולוגיות המדבריות של הנגב.

קק"ל הקימה את תחנת פארק סירת שקד במטרה ללוות את פרויקט הסוואניזציה ביער השגירים, שיעדו הפיכת שטחים ממודברים למערכות אקולוגיות מתפקדות דמויות סוואנה (עצים בודדים נטועים וביניהם שיחים ועשבוניים). המחקרים החלו בשנת 1987, ותחנת המחקר הוקמה בשנת 1997 על שטח של כ-300 דונם. המחקרים ארוכי הטווח שנערכו בה הובילו להבנה ששיקום אזור שהופך למדברי (ממודבר) אינו אפשרי ללא הבנה מעמיקה של תפקודי המערכת האקולוגית. המחקרים סיפקו נתונים לגבי תפקודי המערכת, והתחנה הפכה למקור מידע לממשק מושכל של פרויקט הסוואניזציה של קק"ל בנגב.

מערכת מדורדרת היא מערכת שבעקבות השפעת האדם חסרה את משאבי המים, הקרקע והנוטריינטים שמקיימים מערכת אקולוגית יציבה. מערכת משוקמת היא מערכת ששוחזרו בה התנאים הבסיסיים של משאבי מים, קרקע ונוטריינטים, ומתקיימים בה תהליכים של זרימת אנרגיה ומחזור יסודות.

שיקום תפקודי אקולוגי כולל את התאוששות תפקודי המערכת האקולוגית, ובהם תהליכים של היווצרות קרקע, קיבוע פחמן על ידי צמחים ומחזור יסודות (Majer, 2009). למעשה, תפקודי המערכת האקולוגית משוחזרים. שיקום זה ישים במיוחד במערכות אקולוגיות מופרות, כגון אזורים מוגבלי מים ששיקום למצב המקורי אינו אפשרי בהם (Kollmann et al., 2016).

מהלך השלבים הראשונים של השיקום הכרחי כדי להבין את תפקודי המערכת האקולוגית בהווה (Aerts and Honnay, 2011), מכיוון שהתדרדרות הקרקע ושינוי האקלים לא משפיעים רק על ההרכב הבייתי של מערכות אקולוגיות, אלא גם על תפקודן (Choi et al., 2008).

האזור הצחיח למחצה של מדבר הנגב מייצג אזור מוגבל מים, ששימושי קרקע ארוכי טווח – חקלאות, אגירת מים על ידי בניית סכרים ותעלות, רעייה בלתי מבוקרת וכריתת עצים ושיחים לבעירה – הובילו לשינויים במבנה הנוף ובמגוון הביולוגי בו. השינויים האלה משפיעים על קצב התהליכים האקולוגיים הקשורים לייצור ראשוני ושינוי, למחזור המים ולתהליכים בקרקע (Avni et al., 2012). השינויים בנוף ובמגוון הביולוגי קשורים לשינויים בתהליכים כמו נגר עילי מהמדרונות וסחיפת קרקע, הנובעים מכריתת הצמחייה באגן ההיקוות, מה שגורם להפחתה בייצור ביוטי, ראשוני ושינוי (Shachak et al., 1998).

מערכות אקולוגיות מתפקדות בנגב מתקיימות בזכות שתי קבוצות תפקודיות של אורגניזמים: כחוליות (Cyanobacteria) וכן חזזיות וטחבים שיוצרים קרומי קרקע על ידי הדבכת חלקיקי הקרקע, ושיחים וצמחים

זיהוי התהליכים הבסיסיים המווסתים את תפקודי המערכת האקולוגית

הגורמים העיקריים הקובעים את רמת התפקוד של המערכת כולה הוא מספר כתמי הקרקע המועשרים במים וכמות המים המגיעה אליהם. תהליכי הזרימה והחלחול מתקיימים בכל משטר גשם נתון. הגברת הייצור והעלייה במגוון הביולוגי מלווה בעלייה בשירותי המערכת האקולוגית, הכוללים ויסות מים וקרקע ועלייה בייצור המרעית. התערבות אנושית, כגון חקלאות – גידולים חקלאיים, מרעה וכריתת צומח מעוצה – מפחיתה את מספר הכתמים העשירים במים, ובעקבות זאת, המערכת מתדרדרת, הייצור והמגוון הביולוגי פוחתים בהדרגה, ושירותי המערכת פוחתים (Peters et al., 2012). מערכות אקולוגיות תפקודיות בנגב מייצרות ביומסה צמחית גבוהה יחסית, התומכת במארגי מזון. הקשר התורם לתפקוד המערכת האקולוגית מומחש כמודל מקור ומבלע: המערכת מווסתת את משאביה בהתאם למקורות ולמבלעים של המים בנוף (איור 2, ברנד ושות', 2015). מודל המשוב מאפשר לנו לנתח את תגובת המערכת להפרעות או לתהליכי שיקום במונחים של כתמיות, לחות קרקע וייצור ביולוגי. המודל יכול להתריע מפני פגיעה במערכת ולסייע לבחון את המידה שבה שילוב פעילויות השיקום משיג את תפקודי המערכת הרצויים. מודל המשוב מראה שהמערכת האקולוגית של הנגב יכולה להתקיים בשלושה מצבים: מצב מתפקד, מצב ממודבר ומצב משוקם.

איתור הגורמים המובילים לדרדרון המערכת

מחקרים על המניעים המובילים לתהליכי מדבור מתמקדים בכוחות התורמים האנושיים, כמו רעייה וכריתת עצים, והטבעיים כמו בצורות. במחקרים מוערכת השפעתם של הגורמים האלה על כתמי הנוף (הקשר המרחבי בין כתמי מעוצים וכתמי קרום קרקע ביולוגי), על התמעטות משאבים ועל ההשפעות על תפקוד המערכת האקולוגית (Shachak and Lovett, 1998).

במסגרת מחקרי LTER בתחנת פארק סיירת שקד נבחנו השפעת רעיית צאן על צפיפות כיסוי השיחים. נמצא כי הפחתת כיסוי השיחים היא הגורם העיקרי למדבור (Hoffman et al., 2013), וכי תמותת שיחים גורמת לירידה בייצור הראשוני והשניוני של המערכת האקולוגית. נוסף על כך, צילומי לוויין שנעשו לאורך השנים הראו שרוב השטח כוסה בקרום קרקע ביולוגיים. מחקרים אלה הראו שמבנה הנוף השתנה: נוף שהמרכיב העיקרי בו היה שיחים התדרדר לנוף שהמרכיב העיקרי בו הוא קרום קרקע ביולוגי בעקבות השפעות אנושיות (רעייה) והשפעות אקלים (בצורת) (Paz-Kagan et al., 2014). הקשר בין מבנה הנוף, הנגר עילי וסחיפת קרקע נבחן על ידי כריתת השיחים, ונבדקה ההשפעה של מהלך זה על הנגר והסחף (Hoffman et al., 2017). כמו כן, נחקר הקשר בין שיטפונות

על בסיס מחקרים אקולוגיים ארוכי טווח שבוצעו בתחנת פארק סיירת שקד וסביבתה, נבנה מודל כללי המשלב ומסנתז את התהליכים המסדירים את תפקודי המערכת האקולוגית ומשמש מדריך תאורטי לשיקום תפקודי של נופים מדורדרים באזורים מוגבלי מים (Boeken and Boeken and Orenstein, 2001; Shachak, 1994). המודל מבוסס על ממצאים המצביעים על כך שהתהליך המרכזי המעצב את המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות בנגב הוא חלוקה של מי הגשמים בין כתמי הנוף יוצרי הנגר (קרומי קרקע) ובולעי הנגר (שיחים). החלוקה מתבצעת על ידי נגר עילי, שיוצר לחות קרקע הטרוגנית במרחב (Shachak and Lovett, 1998). פיזור זה מתבטא כפסיפס מרחבי של כתמים עשירים או דלים בלחות קרקע, המתקיימים זה לצד זה, בסקאלות מרחביות שונות (Eldridge et al., 2000). בכתמים עתירי לחות המים חודרים לעומק. ללא כתמים עשירים בלחות יחלחלו רוב מי הגשמים לעומק רדוד ויתאדו במהירות, ועל כן נמצא בכתמים האלה רמות נמוכות של ייצור ראשוני (פוטוסינתזה של צמחים) והמגוון הביולוגי בהם יהיה מצומצם. תכולת המים הגבוהה בכתמי הקרקע תומכת בייצור ראשוני גבוה ובעושר במינים. הבסיס התפקודי המרכזי של המערכת הוא ריכוז הנגר העילי ויצירת כתמי קרקע מועשרים במים (Eldridge et al., 2002; Segoli et al., 2008; Shachak and Boeken, 2010; Hoffman et al., 2013).

הקשר הפונקציונלי בין כתמי הקרקע עם הקרום הביולוגי וכתמי הקרקע עם השיחים מכונה "יחסי מקור-מבלע" (Chen et al., 2008). בכתמי המקור (קרום קרקע ביולוגי) הייצור הראשוני, עושר המינים ומספר הפרטים של כל מין נמוך. בכתמי המבלע (שיחים) הייצור הראשוני גבוה, ועושר המינים ומספר הפרטים מכל מין גבוהים (איור 1).



איור 1

יחידת הנוף האקולוגית הבסיסית – קרום קרקע ושיח

קרום הקרקע הביולוגי הוא מקור לייצור נגר, בעוד השיח מהווה מבלע למים, לקרקע ולחומרי הזנה. כתם הקרום הביולוגי דל בצמחייה, ואילו הצמחים החד-שנתיים נמצאים בעיקר בכתם השיחני (צילום: משה שחק).

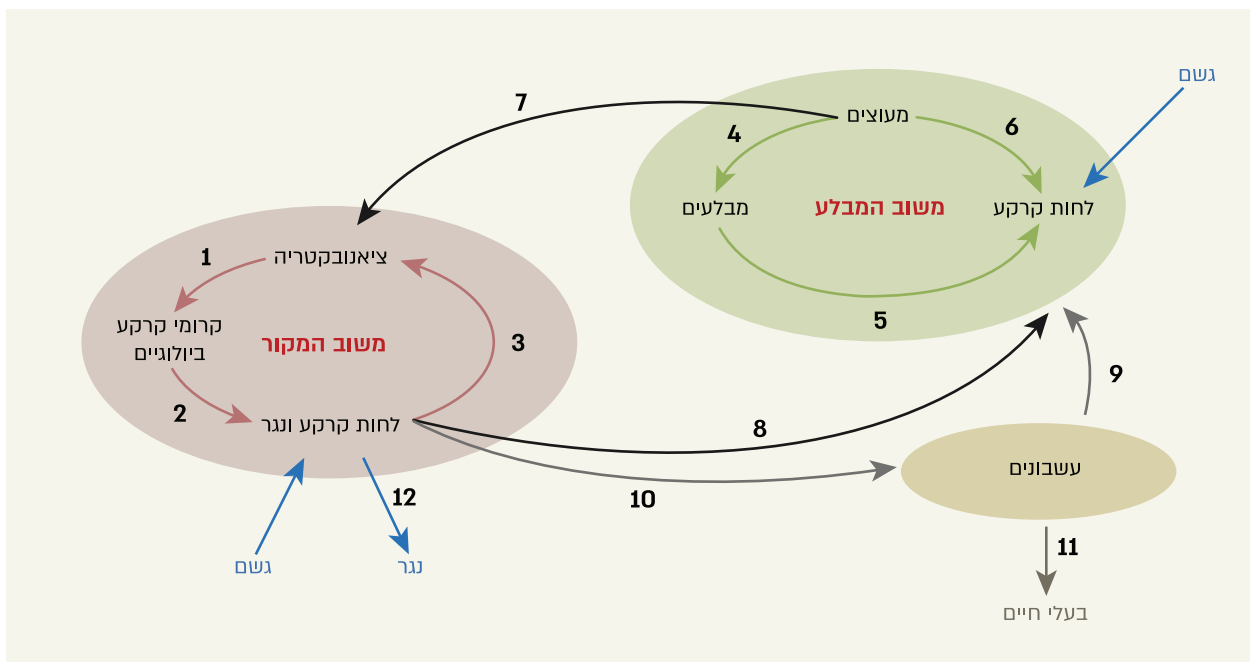
תהליכי סחיפה, ובכך להפחית את הפגיעה במשאבי הקרקע ואת ההתדרדרות של המערכת האקולוגית. קציר נגר הוא אמצעי מרכזי לאיגום משאבים בקרקע, מה שמאפשר הגדלה של הייצור הראשוני והשניוני ושל המגוון הביולוגי של המערכת האקולוגית (Hoffman et al., 2017). כחלק מתהליך השיקום מבוצעת מניפולציה, והנגר העילי נאסף לתלמים הנבנים במדרונות (שיחים) ולסכרים המוקמים בערוצים (לימנים), שבהמשך ניטעים בהם עצים להגברת הייצור הראשוני ולהגדלת המגוון הנופי. מי הנגר נאספים מהמדרונות ומערוצי הנחלים, ומאפשרים למים לחדור לקרקע בכמות של לפחות פי שלושה מכמות המשקעים השנתית הממוצעת (איור 3) (Stavi et al., 2015). כמויות הנגר הגדולות מאפשרות חדירת מים עמוקה לפרופיל הקרקע, ובכך מפחיתות את איבוד המים על ידי אידיוי ומספקות מים לצמחייה לפרקי זמן ממושכים.

מחקרים מראים שאגירת מים חשובה בייחוד במהלך שנות בצורת, מאחר שיש בהן סיכון להתייבשות נרחבת ולתמותת צמחים (Paz-Kagan et al., 2014). באזור ללא איסוף נגר חלה תמותה גדולה של שיחים (איור 4, Stavi et al., 2021).

וסחיפת קרקע (Hoffman et al., 2013). המחקרים הראו שאזורים עם קרום קרקע ביולוגי וללא שיחים יצרו במהלך אירועי גשם כמויות גדולות של נגר עילי, אך לא כך אזורים מכוסים בשיחים. ממצאים נוספים איששו את ההנחה העיקרית שלשיחים תפקיד מרכזי בשימור משאבי המערכת האקולוגית (Hoffman et al., 2017). הפרעות, כגון רעייה ודריסה, פוגעות בתפקודם של השיחים כמבליעי מים ומהנדסי מערכות אקולוגיות, ומובילות להתדרדרות המערכת האקולוגית (Eldridge et al., 2000). לסיכום, מחקרים שנערכו בתחנת פארק סירת שקד וסביבתה מעידים כי תהליכי המדבור נובעים בעיקר מאובדן כיסוי שיחים עקב אירועי בצורת ורעייה, ומאשרים את המודל (איור 2).

שיקום תפקודי: שינוי מצב של נוף מדורדר

הנגר הוא גורם הוויסות העיקרי בחלוקת המים במרחב וביצירת כתמים מועשרים במים, וניהולו הוא הבסיס לשיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות. הוא יכול למנוע



איור 2

מודל הממחיש את התהליכים והמשובים במערכות האקולוגיות בנגר

המודל מבוסס על מחקרים שבוצעו בתחנת פארק סירת שקד וסביבתה. המערכת מורכבת משני משובים עיקריים של מקור-מבלע. קרום הקרקע הביולוגי שנוצר על ידי כחוליות שולט במשוב המקור (1); קרום הקרקע הביולוגי מייצר מי נגר (2) המסייעים לכחוליות להתפשט (3). משוב המבלע מתחיל כאשר השיח מהנדס את התוליות תחתיו (4, 6) שמתפקדת כמבלע ומגבירה את לחות הקרקע בכתם (5). המשובים מחוברים בקשרי מקור-מבלע: נגר שנוצר על ידי קרומי קרקע ביולוגיים מגביר את לחות הקרקע (8) וזה משפיע על הכחוליות (7). ההשפעה הכוללת היא עלייה בצמחייה עשבונית מתחת לשיח (10) המשתמשת בלחות הקרקע בכתם המבלע (9) ומתחזקת את מארג המזון (11). במקרה של מדבור, משוב המקור מייצר מי נגר שעוזבים את המערכת (12), בעוד שבשיקום תפקודי, משוב המבלע שומר על המים ומונע התמעטות של המשאבים במערכת.

ניטור השפעת השיקום והערכת הצלחתו במונחים של שירותי המערכת האקולוגית

של נגר במבלעים מעשה ידי אדם משפרת משמעותית את איכות הקרקע (Paz-Kagan et al., 2014). ממצאי המחקרים בתחנת פארק סיירת שקד ובסביבתה מצביעים על כך שבניית מבלעים מעשה ידי אדם יכולה לפצות על אובדן מבלעים ולהפוך שטח מדורדר למערכות אקולוגיות חדשניות (novel) שמתפקדות עם צפיפות מבלעים גבוהה (איור 5), כפי שחוזזה המודל (איור 2). ממצאי המחקר, הניטור ומאמצי השיקום באים לשרת את הצרכים האנושיים, ומשתלבים עם הרעיון של שירותי

איכות הקרקע משקפת את כושר הנשיאה של המערכת האקולוגית ואת יכולתה לתמוך במשוב קרקע-צמח ובמגוון החי והצומח. בחנו את המבנה הפיזי של הקרקע, רמת הנוטריינטים, כמות החומר האורגני והפעילות הביולוגית בקרקע במטרה לזהות את ההשפעות של פעילויות השיקום התפקודי על איכותה. נמצא שהאגירה לטווח ארוך



איור 3

פעולות שיקום תפקודי בנגב על ידי שליטה בזרימת הנגר ונטיעת עצים

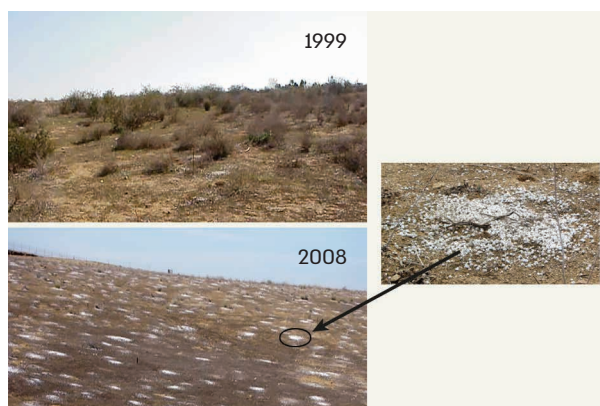
א. שיקום תפקודי במדרונות על ידי מבלעים מעשה ידי אדם (שיחים) (צילום יצחק משה); ב. שיקום תפקודי בערוץ על ידי מבלעים מעשה ידי אדם (לימנים) (צילום: מוטי שריקי).



איור 5

שיקום תפקודי של מערכת מדברית

מערכת אקולוגית שעברה תהליך דרדר. בחלק התחתון ניתן לראות שיקום על ידי עצים. מקור: Google Earth, (2021) ישראל. $31^{\circ}18'25.18''N$; $34^{\circ}48'36.58''E$, גובה 427 מטר, שכבת 3D, אוגוסט 2021.



איור 4

שינוי מצב המערכת האקולוגית ממצב תפקודי למצב ממודבר

המערכת האקולוגית השיחית שנצפתה בשנת 1999 (למעלה) קרסה בעקבות שנים של בצורת באזורים ללא קציר נגר והפכה למערכת קרומית (למטה). הכתמים הלבנים הם הצטברויות של קונכיית חלזונות מתים, שנמצאו מתחת לחופות של שיחים מתים (ימין) (צילום: משה שחק ושילי דור-חיים).

המגבירים את תפקודי המערכת האקולוגית כגון, זרימת אנרגיה ומחזור חומרי הזנה (Yair and Shachak, 1982). החלוקה מחדש מווסתת על ידי האינטראקציות בין מאפייני הגשם, המשאבים, וכתמי המקור-מבלע בנוף (Boeken and Shachak, 1998).

מחקרי תחנת פארק סיירת שקד הובילו לפיתוח ארבעה שלבים עוקבים שמטרתם להביא לשיקום המערכת האקולוגית.

ארבעת השלבים הללו מתווים דרך חדשה לשיקום מערכות אקולוגיות מוגבלות מים. החידוש העיקרי הוא במעבר ממחשבה על שחזור המערכת כולל המינים שאכלסו אותה, לשחזור תפקודי המערכת דרך ארבעת השלבים, ואפשרות השיקום בשטח. במצב הנוכחי של כדור הארץ, שבו אין אפשרות להחזיר את המערכות האקולוגיות המדורדרות למצבן המקורי, אנו מעריכים ששיקום תפקודי היא הגישה החלופית הנכונה, שמציעה פתרון ממשי וישים. כדי להגיע לשלב שמאפשר שיקום תפקודי יש להבין לעומק את תפקודי המערכת בהווה, ולבצע מחקרים ארוכי טווח שיזהו את דינמיקת התהליכים במערכת ויאפשרו לבנות מודל לשיקום מערכות שאינן מתפקדות.

במאמר זה תיארו את הבסיס המדעי לשיקום התפקודי שמבצעת קק"ל בצפון הנגב על בסיס מחקרי פארק סיירת שקד. המחקרים והמודלים שפותחו אפשרו לקק"ל לבנות את המבלעים שנהרסו בגלל כריתת השיחים, ואפשרו נטיעת עצים. כך שוקמו יחסי מקור-מבלע והשטחים הממודברים נעשו למערכות אקולוגיות חדשניות דמויות סוואנה. לנוכח שינוי האקלים, יש להמשיך לבחון, לחקור ולחפש כיצד לשכלל את מערכת המבלעים בתנאים של אקלים משתנה.

המערכת האקולוגית (de Groot et al., 2010). בעבר הוגדרו ארבעה סוגים של שירותי מערכת אקולוגית (MEA, 2003): אספקה, ויסות, תרבות ותמיכה, ובהמשך צומצמו לשלושה סוגים של שירותי מערכת ולתהליכי תמיכה. **שירותי אספקה** הם מוצרים המתקבלים ממערכות אקולוגיות (MEA, 2003). בנגב שיקום תפקודי מספק משאבי מרעה וצל לעדרי בקר, צאן ועיזים (Zaady et al., 2001); **שירותי ויסות** הניתנים ממערכות אקולוגיות שומרים על איכות האוויר והקרקע, תומכים בהאבקה ומונעים שיטפונות. בנגב מקודמים שירותי ויסות הנוגעים למחזור המים ולשימור הקרקע על ידי בניית תלוליות ומבלעים מעשה ידי אדם (Tal, 2013); **שירותי תרבות** הם תועלות לא חומריות שאנשים משיגים ממערכות אקולוגיות. בנגב יצירת סוואנה מעשה ידי אדם מספקת הזדמנויות לנופש ולשהייה של האדם בחיק הטבע וכן נוף ירוק וידידותי לאדם.

סיכום

מחקרים שנעשו בתחנת LTER פארק סיירת שקד וסביבתה, התמקדו בהבנת המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית המדברית ובגורמים לשינוי מצב. ממצאי המחקרים הובילו לפעולות שיקום ברחבי הנגב שבוצעו בידי קק"ל, שהתמקדו בשיקום התכונה החיונית של המערכת האקולוגית – יצירת כתמים מועשרים במים בפסיפס דו-כתמי הפועל כמשוב מקור-מבלע ומווסת את היצרנות והמגוון הביולוגי (איור 2). במערכות אקולוגיות מוגבלות במים התכונות החיוניות המווסתות את היצרנות והמגוון האקולוגי הן חלוקה מחדש של גשמים על ידי מי נגר ויצירת כתמים מועשרים במים

מקורות

- Boeken B and Orenstein D. 2001. The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 12(6), 823–832.
- Boeken B and Shachak M. 1998. The dynamics of abundance and incidence of annual plant species during colonization in a desert. *Ecography*, 21(1), 63–73.
- Chen L, Fu B, and Zhao W. 2008. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Frontiers of Biology in China*, 3(2), 131–136.
- Choi YD, Temperton VM, Allen EB, Grootjans AP, Halassy M, Hobbs RJ, et al. 2008. Ecological restoration for future sustainability in a changing environment. *Ecoscience*, 15(1), 53–64.
- Collins SL, Belnap J, Grimm NB, Rudgers JA, Dahm CN, D'Odorico P, et al. 2014. A multiscale, hierarchical model of pulse dynamics in arid-land ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 397–419.
- ברנד ד, משה י ושחק מ. 2015. **שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות בצפון הנגב**. נייר עמדה, מחלקת יער מרחב דרום, אגף הייעור, קרן קימת לישראל.
- Aerts R and Honnay O. 2011. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*, 11, 29.
- Avni Y, Porat N, and Avni G. 2012. Pre-farming environment and OSL chronology in the Negev Highlands, Israel. *Journal of Arid Environments*, 86, 12–27.
- Avni Y, Porat N, Plakht J, and Avni G. 2006. Geomorphic changes leading to natural desertification versus anthropogenic land conservation in an arid environment, the Negev Highlands, Israel. *Geomorphology*, 82(3–4), 177–200.
- Boeken B and Shachak M. 1994. Desert plant communities in human-made patches - Implications for management. *Ecological Applications*, 4(4), 702–716.

- Peters DPC, Okin GS, Herrick JE, Savoy HM, Anderson JP, Scroggs SLP, et al. 2020. Modifying connectivity to promote state change reversal: The importance of geomorphic context and plant-soil feedbacks. *Ecology*, 101(9), 1–13.
- Peters DPC, Yao J, Sala OE, and Anderson JP. 2012. Directional climate change and potential reversal of desertification in arid and semiarid ecosystems. *Global Change Biology*, 18(1), 151–163.
- Segoli M, Ungar ED, and Shachak M. 2008. Shrubs enhance resilience of a semi-arid ecosystem by engineering and regrowth. *Ecohydrology*, 1(4), 330–339.
- Shachak M and Boeken BR. 2010. Patterns of biotic community organization and reorganization: A conceptual framework and a case study. *Ecological Complexity*, 7(4), 433–445.
- Shachak M and Lovett GM. 1998. Atmospheric deposition to a desert ecosystem and its implications for management. *Ecological Applications*, 8(2), 455–463.
- Shachak M, Sachs M, and Moshe I. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475–483.
- Stavi I, Fizik E, and Argaman E. 2015. Contour bench terrace (shich/shikim) forestry systems in the semi-arid Israeli Negev: Effects on soil quality, geodiversity, and herbaceous vegetation. *Geomorphology*, 231, 376–382.
- Stavi I, Zaady E, Gusarov A, and Yizhaq H. 2021. Dead shrub patches as ecosystem engineers in degraded drylands. *Journal of Geographical Sciences*, 31(8), 1187–1204.
- Tal A. 2013. All the trees of the forest: Israel's woodlands from the bible to the present. Yale University Press.
- Yair A and Shachak M. 1982. A case study of energy, water and soil flow chains in an arid ecosystem. *Oecologia*, 54(3), 389–397.
- Zaady E, Yonatan R, Shachak M, and Perevolotsky A. 2001. The effects of grazing on abiotic and biotic parameters in a semiarid ecosystem: A case study from the Northern Negev Desert, Israel. *Arid Land Research and Management*, 15(3), 245–261.
- 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.
- Eldridge DJ, Zaady E, and Shachak M. 2000. Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev, Israel. *Catena*, 40(3), 323–336.
- Eldridge DJ, Zaady E, and Shachak M. 2002. Microphytic crusts, shrub patches and water harvesting in the Negev Desert: The Shikim system. *Landscape Ecology*, 17(6), 587–597.
- Hoffman O, Yizhaq H, and Boeken B. 2017. Shifts in landscape ecohydrological structural-functional relationship driven by experimental manipulations and ecological interactions. *Ecohydrology*, 10(3), e1806.
- Hoffman O, Yizhaq H, and Boeken B. 2013. Small-scale effects of annual and woody vegetation on sediment displacement under field conditions. *Catena*, 109, 157–163.
- Kollmann J, Meyer ST, Bateman R, Conradi T, Gossner MM, de Souza Mendonça M, et al. 2016. Integrating ecosystem functions into restoration ecology – recent advances and future directions. *Restoration Ecology*, 24(6), 722–730.
- Majer JD. 2009. Animals in the restoration process – Progressing the trends. *Restoration Ecology*, 17(3), 315–319.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and Human Well-Being – A Framework for Assessment. In: Millennium Ecosystem Assessment. Island press.
- Parks CG, Bernier P, Bytnerowicz A, Hånell B, Allen CD, Macalady AK, et al. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–684.
- Paz-Kagan T, Panov N, Shachak M, Zaady E, and Karnieli A. 2014. Structural changes of desertified and managed shrubland landscapes in response to drought: Spectral, spatial and temporal analyses. *Remote Sensing*, 6(9), 8134–8164.
- Paz-Kagan T, Shachak M, Zaady E, and Karnieli A. 2014. A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma*, 230, 171–184.

שיחים בפארק סיירת שקד, 1990
צילום: ישראל סיני, באדיבות ארכיון
הצילומים של קק"ל

