



קרן קימת לישראל
K K L - J N F

שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות בצפון הנגב



נייר עמדה
לפעולות השיקום של קרן קימת לישראל
בצפון הנגב

דוד ברנד, יצחק משה, משה שחק



שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות בצפון הנגב



נייר עמדה
לפעולות השיקום של קרן קימת לישראל
בצפון הנגב

דוד ברנד, יצחק משה, משה שחק

ניסן תשע"ה • אפריל 2015

נייר עמדה זה נכתב על בסיס הידע העשיר והניסיון המעשי הרב של אנשי המקצוע בקק"ל, ובמיוחד של אנשי היער במרחב דרום, חוקרים ומדענים ממוסדות מחקר ואקדמיה בישראל ובחו"ל.

כותבים	ד"ר דוד ברנד – יערן ראשי ומנהל אגף הייעור, קק"ל יצחק משה – סגן מנהל מרחב דרום ומנהל מחלקת יער ושימור קרקע, קק"ל פרופ' משה שחק – אוניברסיטת בן גוריון בנגב
תרמו בכתיבה, ברעיונות ובהערות	עמי אוליאל, פרופ' אלון טל, ענת גולד, מוטי שריקי, שילי דור־חיים
מקור התמונות	יצחק משה, פרופ' משה שחק, ד"ר דוד ברנד, ד"ר איל שוחט, ד"ר אריה וינוגרד, פרופ' ארנון קרניאלי, מוטי קפלן, ד"ר אלי צעדי, מוטי שריקי, אדי ישראל, אלבטרוס צילום אוויר, ארכיון הצילומים של קק"ל
עריכה לשונית	רעיה כהן
דפוס	גרפוס פרינט
עיצוב	אתי אזולאי, תכלת
על העטיפה	תצלומי אוויר של מערכות אקולוגיות ממדברות בצפון הנגב, לפני ואחרי פעולות השיקום של קק"ל

מסת"ב: 6-6-90438-965-978

בהוצאת אגף הייעור, מחלקת יער מרחב דרום ויחידת הפרסומים, קרן קימת לישראל
ירושלים 2015



תוכן העניינים

5	דבר מנהל מפ"ק
7	תקציר
11	מבוא
12	1. הרקע לפעילות קק"ל: הנוף התרבותי הרב-תפקודי בצפון הנגב
12	1.1 שינויים דמוגרפיים
12	1.2 שינויים בשימושי הקרקע
13	1.3 הבסיס הסטטוטורי לנטיעות של קק"ל בצפון הנגב
13	1.3.1 מצפון לבאר שבע – החגורה הירוקה
13	1.3.2 מצפון-מזרח לבאר שבע
14	1.3.3 מצפון-מערב לבאר שבע
14	1.3.4 קו התפר המזרחי
14	1.4 תהליכי מדבור בצפון הנגב
14	1.4.1 מערכות מרעה
14	1.4.2 מערכות חקלאיות
18	1.4.3 מערכות יישוביות
18	1.5 סיכום
19	2. רקע מדעי לתהליכי מדבור ופעולות קק"ל לשיקום תפקודי בצפון הנגב
19	2.1 הרקע המדעי לתהליכי מדבור
24	2.2 פעולות קק"ל לשיקום תפקודי בצפון הנגב
26	2.2.1 פעולות קק"ל בגבול השטחים החקלאיים
27	2.2.2 פעולות הייעור של קק"ל במעטפת היישובית
30	2.3 פעולות קק"ל לשיפור מערכת הרעייה
31	2.4 סיכום
32	3. מחקר וניטור מלווה בפעולות השיקום של קק"ל בצפון הנגב
32	3.1 מחקרי תהליכי מדבור
32	3.1.1 השפעת הרעייה והבצורות על המבנה הנופי

33	3.1.2	השפעת המבנה הנופי על הנגר העילי וסחף הקרקע
36	3.1.3	השפעתם של המבנה הנופי והמשאבים על תפקוד המערכת האקולוגית
36	3.2	מחקרי תהליכי השיקום
37	3.2.1	מחקרי רקע
39	3.2.2	מחקרי מעקב
39	3.2.2.1	מחקר מערכת הקשרים גשם-נגר, בלימים
40	3.2.2.2	מחקר נגר - לחות קרקע, בשיחים
40	3.2.2.3	השפעת פעולות השיקום על איכות הקרקע
40	3.2.2.4	השפעת פעולות השיקום על הייצור הראשוני והמגוון התפקודי
41	3.2.2.5	השפעת פעולות הממשק על מניעת שיטפונות
42	3.2.3	מחקרי שיקום תפקודי לנוכח שינויי אקלים צפויים
43	3.2.3.1	השלכות רצף אירועי בצורת על רכיבי המערכת האקולוגית ותפקודה
	3.2.3.2	תגובות יחידות הנוף קולטות הנגר לאירועי קיצון בהווה והתאמת
43		ממשק השיקום התפקודי לאירועי אקלים קיצוניים
46	4.	שירותים אקולוגיים בעקבות פעולות קק"ל לשיקום התפקודי בצפון הנגב
46	4.1	שירותי מערכת בנוף תרבותי רב-תפקודי
47	4.2	השירותים האקולוגיים במערכת המשוקמת בשטחי קק"ל בצפון הנגב
48	4.2.1	שירותי ויסות
48	4.2.1.1	ויסות מחזור המים
48	4.2.1.2	ויסות קרקע
49	4.2.1.3	ויסות יחסי צמחים-חרקים
49	4.2.1.4	ויסות שירותי האבקה
50	4.2.1.5	ויסות מחזור הפחמן
51	4.2.2	שירותי תרבות
54	4.2.3	שירותי בתי גידול
56	4.2.4	שירותי אספקה
56	4.2.4.1	אספקת שטחי רעייה
58	4.2.4.2	אספקת עץ וחומרי בערה
59	5.	ביבליוגרפיה



דבר מנהל מפ"ק

הידע הרב והניסיון המעשי שהצטברו בפעילות הממשקית והמחקרית של הקק"ל מציעים דרכי התמודדות ייחודיות עם ההשפעות השליליות של תהליכי המדבור בצפון הנגב. מחקרים שבדקו לאחרונה את תוצאות פעולות השיקום של קק"ל בצפון הנגב הראו שפעולות אלו תורמות להגברת חיוניותן ותפקודן של המערכות האקולוגיות.

פעולות השיקום של קק"ל בצפון הנגב זוכות להכרה והוקרה בין־לאומית בקרב גופים בין־לאומיים כחסות האו"ם (FAO, UNCCD, Silva Mediterranea), שירות הייעור של ארצות הברית ועוד.

קק"ל תמשיך להשתלב במסגרת פעולות הפיתוח של מדינת ישראל בצפון הנגב על מנת להבטיח אספקת שירותים אקולוגיים מגוונים לרווחת תושבי המדינה.

בברכה,
קובי מור
מנהל מפ"ק

קרון קימת לישראל - הארגון הירוק המוביל בישראל, באמצעות מינהל פיתוח הקרקע, הזרוע הביצועית - פועלת לשיקום וטיפול של מערכות אקולוגיות בכל רחבי הארץ.

מינהל פיתוח הקרקע אחראי לניהול יערות ושטחים פתוחים במגוון רחב של בתי גידול מתוך שמירה על תפקודן של מערכות אקולוגיות מורכבות אלו.

אגף הייעור, בניהולו של ד"ר דוד ברנד, ומרחב דרום, בניהולם של מר עמי אוליאל וסגנו מר יצחק משה, משקיעים משאבים רבים בפעולות שיקום למניעת תהליכי מדבור וכן במחקר ובניטור ארוך־טווח, על מנת לבחון את המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות בצפון הנגב.

קק"ל הייתה חלוצה בתחום הניטור ארוך־הטווח והחלה את פעילותה הנרחבת בתחום זה כבר לפני למעלה מ־25 שנה. רשת תחנות הניטור האקולוגי ארוך־הטווח שבניהול קק"ל מציגה נתונים שנאספו במשך שנים רבות, המעידים שמגמות הפיתוח והלחצים הדמוגרפיים יגרמו להגברת תהליכי הדרדור של המערכות האקולוגיות בצפון הנגב.

יערות קק"ל בצפון הנגב מספקים שירותי תרבות, נופש ופנאי לרווחת התושבים





תקציר

במגוון הנופי, אבדן משאבי מים, הגדלת עוצמת השיטפונות, סחף קרקע, הקטנת הייצור הראשוני ופגיעה בצומח ובבעלי חיים. המודלים האקולוגיים שמתארים את המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות בצפון הנגב מעידים שמגמות הפיתוח והלחצים הדמוגרפיים הכרוכים בהגדלת השטח המבונה, השטחים החקלאיים המעובדים באופן אינטנסיבי ועלייה בלחצי הרעייה יגרמו להגברת תהליכי הדרדרון של המערכות האקולוגיות בצפון הנגב. שינויי האקלים החזויים שיתבטאו בין השאר באירועי קיצון (בצורת ואירועי גשם חריגים) עלולים להאיץ תהליכי דרדרון אלו.

הידע שהצטבר בפעילות המחקרית והממשקית של קק"ל מציע דרכי התמודדות ייחודיות עם התהליכים השליליים האלה. מחקרי הרקע בהידרולוגיה ובאקולוגיה של תהליכי המדבור מוכיחים שהנוף התרבותי הרב־תפקודי של צפון הנגב משופע במערכות אקולוגיות חדשניות (novel ecosystems) השונות במבנה ובתפקוד ממערכות אקולוגיות טבעיות שהיו באזור לפני חדירת האדם לנגב. יש במערכות אלו יחסי גומלין בין רכיבים אביוטיים טבעיים (מים, מסלע וקרקע) לבין רכיבים מעשה ידי אדם (תעלות וסכרים), רכיבים ביוטיים (מינים אופרטוניסטיים שהסתגלו לנוף התרבותי) ורכיבים חברתיים (שימושי קרקע). המערכות מושפעות מהשינויים הפיזיים והביולוגיים שיצר האדם בפעילויותיו המגוונות בצפון הנגב במשך אלפי שנים. ככל המערכות האקולוגיות הן מתפקדות, אולם ההיסטוריה האנושית עיצבה אותן ברמת תפקוד נמוכה המתבטאת בירידה ביכולתן לשמר משאבים. המערכת האקולוגית הממודברת בצפון הנגב מאופיינת כיום בדרגת

נייר עמדה זה מציג את הבסיס המדעי ואת פעולות הייעור לשיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות בצפון הנגב.

ואלה נושאי נייר העמדה:

1. התפיסות החדשניות בתורת השיקום האקולוגי שלפיהן האדם ותפקודו המעצבים את הנוף התרבותי ואת המערכות האקולוגיות החדשניות הם חלק אינטגרלי מהמערכת האקולוגית
2. מחקרי רקע ארוכי־טווח שזיהו את הגורמים המניעים את תהליכי המדבור בצפון הנגב ואת הדרכים לשיקום התפקודי של המערכות הממודברות בצפון הנגב
3. מחקרי מעקב ארוכי־טווח שזיהו את ההשפעות החיוביות של השיקום התפקודי על המערכות הממודברות בצפון הנגב במונחים של איכות קרקע, יצרנות ומגוון ביולוגי
4. פעולות הייעור לשיקום תפקודי ותוצרי השיקום, במונחים של שירותי המערכת האקולוגית.

הידע ההיסטורי והמחקר העכשווי מאשרים שפעולות הייעור של קק"ל לשיקום תפקודי של המערכות האקולוגיות הממודברות בצפון הנגב משתלבות בפסיפס שימושי הקרקע בנוף התרבותי הרב־תפקודי. האדם הוא שעיבב נוף זה לאורך ההיסטוריה האנושית, אך מתברר שהמערכות האקולוגיות שעיבב האדם ושמאפיינות את צפון הנגב הן מערכות מדורדרות המאבדות משאבי קרקע ומים שתומכים במערכת האקולוגית כולה. שימושי קרקע לא מבוקרים בעבר ובהווה, ובהם רעייה, כריתת צומח, עיבודים חקלאיים מצד אחד והזנחת אתרי החקלאות העתיקה מצד שני, גרמו לתהליכי מדבור שהביטוי להם הוא פגיעה

הידרדרות גבוהה. דרגה זו נקבעה על סמך מדדים של סחף קרקע, איבודי מים וייצור ראשוני. תהליך ההידרדרות עלול להתגבר בשל שימושי קרקע לא מבוקרים ושינויי אקלים.

קק"ל פועלת לשיקום תפקודן של מערכות אקולוגיות חדשניות ממודברות אלו בצפון הנגב. היא מעצבת אותן מחדש לשם שימור משאבים ולשם חידוש אספקת מגוון השירותים האקולוגיים שהנוף התרבותי הממודבר בצפון הנגב אינו מסוגל לספק לרווחת האדם.

שיקום המערכת ועצירת ההידרדרות מחייבים נקיטת פעולות ממשקיות המבוססות על הבנת הקשרים שבין ההידרולוגיה, המבנה והתפקוד של מערכות אקולוגיות באזורים מוגבלי מים.

הפעולות כוללות:

1. שינוי התשתית הפיזית, כדי שהמערכת תשמר את משאבי הקרקע והמים ותעודד את ההתחדשות של המשאבים הביולוגיים;

2. נטיעות יערניות המספקות מגוון שירותים אקולוגיים לרווחת האדם.

פעולות קק"ל בצפון הנגב מתבצעות במסגרת תכניות מתאר ארציות (תמ"א 22) ומחוזיות, שלפי הגדרתן ייעודי השטחים בהן הם יער וייעור. נטיעות קק"ל במסגרת תמ"א 22 מאושרות במסגרת ועדת המעקב והבקרה המקצועית שבראשות המשרד להגנת הסביבה, נציגים מרשות הטבע והגנים הלאומיים ומהחברה להגנת הטבע וכן מדענים מהאקדמיה. כדי לספק חומר רקע לפעולות התכנון והממשק בשטחים אלו קק"ל מבצעת סקרים מקיפים ומפורטים על איכות הקרקע, מגוון הצומח, ערכי טבע ייחודיים, אתרי מורשת וארכיאולוגיה ועוד. פעולות קק"ל מותאמות לתנאי השטח ומשמרות ערכי טבע ייחודיים ואתרי מורשת וארכיאולוגיה.

בעקבות החלטת הממשלה לשמירה על קרקעות הלאום, קק"ל נוטעת ומנהלת זמנית שטחים שאינם כלולים בתמ"א 22 ושרשות מקרקעי ישראל מסרה לניהולה. הפעולות בשטחים אלו מנוהלות במקצועיות, ממש כמו בשטחי תמ"א 22. כמו כן פועלת קק"ל לשימור המשאבים

האקולוגיים ולהגדלתם באמצעות שיקום תפקודי של המערכות האקולוגיות המדורדרות. השטחים המשוקמים מספקים מגוון רחב של שירותים אקולוגיים לרווחת הציבור. ניהולם ושיקומם מאפשרים לשמור עליהם לטובת הדורות הבאים.

במסגרת השיקום התפקודי משוחזרים התהליכים ההידרולוגיים, הקרקעיים והאקולוגיים המרכזיים והם מכוונים ליצירת מערכת אקולוגית ברמה תפקודית גבוהה ובתקיימא. השיקום התפקודי של קק"ל מתבסס על ידע מדעי כללי בעניין המבנה והתפקוד של מערכות אקולוגיות באזורים מוגבלי מים וכן על ידע פרטני שהצטבר במחקרים ייעודיים ארוכי-טווח על אודות מבנה של מערכות בצפון הנגב ותפקודן.

להלן התהליכים המרכזיים שמניעים את המערכות מוגבלות המים:

1. פיזור מחדש של מי הגשמים על-ידי הנגר העילי;

2. יצירת כתמים עשירים בלחות קרקע על-ידי מבלעים קרקעיים לנגר, טבעיים ומעשה ידי אדם;

3. ייצור ראשוני גבוה בכתמים המועשרים במשאבי קרקע ומים המשמשים מסד למערכת אקולוגית המתפקדת ברמה גבוהה.

הואיל ותהליכי המדבור גרמו לצמצום חד של המבלעים הטבעיים לנגר (שהם בעיקר צמחים מעוצים), ההטרונגניות המרחבית בלחות הקרקע נפגמה ונפגע גם הייצור הביולוגי. גורמים אלו הביאו לידי הידרדרות המערכת האקולוגית. שיקום המערכת אפשרי על-ידי יצירת הטרונגניות נופית של מבלעים מעשה ידי אדם, שאליהם נאספים מי נגר ויוצרים כתמים מועשרים במים ונוטריינטים. חדירת מי הנגר לקרקע מאפשרת יצירת בתי גידול עתירי לחות קרקע באזורים מוגבלי מים. תהליך זה גורם להשבחת תפקודי הקרקע התומכים במערכת האקולוגית. איכות הקרקע הגבוהה מגדילה את הייצור הראשוני ואת המגוון הביולוגי, בקרקע ומעליה, ומאפשרת נטיעה. העצים הניטעים מתגברים את יכולתה של המערכת לספק תועלות לאדם ולאורגניזמים המתקיימים בה. סוגי העצים

והרכב הנטיעות מותאמים להטרוגניות המרחבית בנוף ובלחות הקרקע, למאפייני בית הגידול, למסורת החקלאית שהייתה נהוגה באזור, ליעודה של תכנית המתאר ולשימוש הצפוי בשטח. מגוון סוגי העצים הוכיח עמידות לבצורת ולנזקי בעלי החיים והאדם.

עיצוב הנוף לתועלת האדם הוא עניין תלוי תרבות. ראוי לציין כי החקלאות העתיקה והמסורתית שעיצבה את הנוף התרבותי של הנגב התבססה אף היא על יצירתם של מבלעים למי נגר ואתרים עתירי לחות קרקע. היא נועדה לאפשר קיום חקלאות המתבססת על משאבים מקומיים בלבד, באזור המוגבל במשאבי מים. בפעולות קק"ל בנוף התרבותי יש משום המשכיות המבוססת על הכרת המורשת העתיקה אשר עיצבה את הנוף לתועלת האדם באמצעות שינויים מיקרו־טופוגרפיים. במאה ה־21 אוכלוסיית בני האדם הולכת וגדלה, והמערכת החברתית־תרבותית בנגב זקוקה לשירותי ויסות שימתנו את ההשפעות השליליות של שימושי הקרקע בידי האדם. כמו כן זקוקה מערכת זו לשירותי נופש ופנאי לטובת האדם. לפיכך, האתרים המשוקמים חובקים יישובים ונמצאים בגבול שבין שטחים חקלאיים לשטחים פתוחים, לאורך נחלים ושטחי מרעה ובמקומות שבהם נהוגה השתלטות בלתי חוקית על קרקעות המדינה ופגיעה אקולוגית בהם. הם קולטים מי נגר, סחף קרקע, דשנים ומזהמים שמקורם בשטחים חקלאיים, בשטחים בנויים ובשטחים המשמשים למרעה. מצד אחד הם מרסנים את תהליכי אבדן המשאבים ואת הזיהום, ומצד שני הם משמשים אתרי נופש ופנאי. שטח האתרים ששיקמה קק"ל בנגב מהווה כ־6% מכלל הנגב. האתרים תואמים את תורת הנוף התרבותי הרב־תפקודי שלפיה יש חשיבות לרכיבים התומכים במערכות חקלאיות, מערכות רעייה ומערכות יישוביות שמכסות את רוב שטחי הנוף התרבותי ואף מקשרים ביניהן.

מחקרי מעקב וניטור ארוך־טווח מצביעים על הגורמים המאפשרים לשטחים משוקמים קטנים יחסית להוות גורם משפיע על תפקוד הנוף כולו. נמצא בהם שבמערכות המשוקמות יש שיפור באיכות הקרקע וברמת היצרנות וכן גידול של

המגוון הביולוגי. הגידול מתרחש בשתי הרמות הטרופיות ("היצרנים" ו"המפרקים"), ואלה מניעות את המערכת האקולוגית כולה. התברר גם שפעולות השיקום מקטינות את שיעורי סחף הקרקע, את תדירות השיטפונות בשטחים המשוקמים ואת עוצמתם ושהן מונעות נזקי סחף והצפה בשטחי החקלאות וביישובים הסמוכים. המחקר והניטור ארוך־הטווח מלמדים על התאמתה של המערכת המשוקמת ועל עמידותה באירועי קיצון ובשינויים עתיים ברמת המשקעים ובמשכי היובש. המבלעים מעשה ידי אדם מסוגלים לקלוט מי נגר ולווסת את עוצמת השיטפונות באירועי סופה חריגים. באתרי איסוף מי הנגר נשמר מגוון הצומח הטבעי והנטוע גם במהלך תקופות בצורת ממושכות. אתרי איסוף מי הנגר (שטחים נטועים) מהווים כשליש מהשטח המשוקם, בעוד ביתרת השטח המשוקם (אזורי מקור למי נגר) נותרת מערכת שיחנית. חשוב להדגיש שהשטחים המשוקמים מהווים חלק קטן מכלל אגן ההיקוות. עם זאת, השטחים המשוקמים תורמים לוויסות אבדן משאבים בכלל המערכות האקולוגיות ובכלל שימושי השטח באגן ההיקוות. השילוב של מערכות היער והמערכות השיחניות במרחב אגן ההיקוות יוצר נוף תפקודי מגוון המאפשר דו־קיום של מינים שמותאמים למערכות האקולוגיות הממודברות בצפון הנגב ומינים חדשים המותאמים לאזורי המבלע.

המערכת הנופית המשולבת של שטחים נטועים המשמשים מבלעים למי נגר ושל מערכות שיחניות המשמשות מקור לנגר היא כנראה המערכת שעשויה למלא את צורכי האדם והטבע כאחת. חקר התכנון המרחבי של יחסים סינרגטיים בין השטחים הנטועים למערכות השיחניות שנועד לתועלת האדם והטבע הוא האתגר של מחקרי קק"ל העתידיים. קק"ל תמשיך במחקרים ובניטור ארוך־טווח כדי להשלים פערי ידע בתחומים אלו.

הערכת תוצאות השיקום התפקודי בצפון הנגב במסגרת הפרדיגמה המדעית המתפתחת של שירותי המערכת האקולוגית מצביעה על עלייה במגוון וברמה של שירותי הוויסות, התרבות, בית הגידול והאספקה שמערכות אלו מספקות לרווחת האדם.

ארגונים אקולוגיים וגופי ייעור בין-לאומיים מהמעלה הראשונה (שירות הייעור של ארצות הברית, שירות הייעור התורכי EFIMED, FAO, LTER, אירופה ו-LTER העולמי) מכירים בחשיבותן של פעולות השיקום התפקודי של קק"ל בצפון הנגב ובערן המדעי של עבודות המחקר והניטור. ביטוי לכך אפשר למצוא במחקרים משותפים עם ארצות אירופה וארה"ב במסגרת התכניות ExpeER, IALC Practice, MERC.

השיתוף הבין-לאומי הביא לידי ההכרה ששיטות השיקום התפקודי של קק"ל בצפון הנגב יכולות לשמש אמצעי יעיל ויישומי לשיקום אזורים ממודברים וכלי להסתגלות ולהתמודדות עם שינויי האקלים הצפויים באזורים מוגבלי מים לא רק בישראל. אנשי מקצוע מארצות שונות באים ללמוד את הבסיס המדעי ואת דרכי היישום של פעולות השיקום הסתגלניות שקק"ל מבצעת ומתאימה מעת לעת, על בסיס ממצאי המחקר והניטור ארוך-הטווח. תוצאות פעולות השיקום והמשק של השטחים המשוקמים נבחנות בהשפעתן ארוכת-הטווח. מחקרים מן הזמן האחרון שבחנו את תוצאות השיקום לאחר עשרות שנים הראו שתהליכי השיקום תורמים להגברת חיוניותן ותפקודן של המערכות האקולוגיות. על סמך תוצאות מעודדות אלו תמשיך קק"ל ותשתלב בפעולות הפיתוח העתידיות של מדינת ישראל בצפון הנגב, במסגרת הנוף התרבותי, ותבטיח אספקת שירותים אקולוגיים ייחודיים ומגוונים לרווחת התושבים.

להלן תקציר השירותים האקולוגיים הנשענים על השיקום התפקודי:

שירותי ויסות: ויסות מחזור המים כדי למנוע איבוד משאבי מים ונזקי שיטפונות; ויסות ומניעה של נזקי סחף קרקע; הגדלת הייצור הראשוני המניע את זרימת האנרגיה ומחזור היסודות במערכת האקולוגית; תמיכה באויבים טבעיים למזיקי חקלאות; ויסות שירותי האבקה וכן ויסות מחזור הפחמן על-ידי הגברת תהליכי קיבוע פחמן.

שירותי תרבות: אספקתם של אתרי נופש וחניונים פעילים, אתרי פריחה, שבילי אופניים וכן פארקים ויערות צמודי עיר; שימורם של ערכי מסורת ומורשת.

עידוד קהל לבקר ביערות מגביר את השימוש בתשתיות האירוח ביישובים ויש לו תרומה כלכלית ליישובי הפריפריה.

שירותי בית גידול: הגדלת רמת היצרנות הכללית של המערכות המדורדרות; תמיכה בכמה מיני מפתח החשובים לתפקוד המערכת האקולוגית (טרמיטים, נמלים, שבלולים ועכבישים); הבטחת מקום מפלט למיני עופות נדירים ומתן צל ומחסה לבעלי חיים בסכנת ציד; וכן הגברת העמידות לשינויי האקלים הצפויים באזורנו בבתי גידול שונים בצפון הנגב.

שירותי אספקה: אספקת שטחי רעייה, לפי הדרישה הגוברת והולכת של בעלי עדרי הצאן והבקר מקרב התושבים המקומיים; וכן אספקת עץ וחומרי בערה לצורכי בישול וחימום לקהילות המקומיות.



מבוא

הממלאים את הדרישות העכשוויות והעתידיות של החברה. בתהליך השיקום יש לעצב מערכת שתשמר משאבים אביוטיים ותייצר משאבים ביוטיים. המשאבים האביוטיים העיקריים הם קרקע ומים. משאבים אלו מווסתים יצירת ביומסה צמחית, וזו מתחזקת את מארג המזון ואת מחזור היסודות. ואולם, בשטחים ממוזברים המערכת מאבדת קרקע ומים ואינה מצליחה לתחזק ברמה גבוהה את הייצור הביולוגי, את מארג המזון ואת מחזור היסודות. מטרת השיקום היא להביא את המערכת לידי שמירת קרקע ומים ואספקת משאבים שיאפשרו לייצר ייצור ביולוגי ברמה גבוהה ולהציע מגוון שירותים אקולוגיים לרווחת האדם.

נייר העמדה מתמקד בנושאים הבאים:

1. הרקע לפעילות קק"ל: הנוף התרבותי הרב-תפקודי בצפון הנגב;
2. הרקע המדעי לתהליכי מדבור ופעולות שיקום תפקודי בצפון הנגב;
3. מחקר וניטור מלווה בפעולות השיקום של קק"ל בצפון הנגב;
4. שירותים אקולוגיים הנובעים מהשיקום התפקודי של קק"ל בצפון הנגב.

קק"ל מבצעת באזור הממודבר של צפון הנגב פעולות שיקום המכוונות לעצירת תהליכים של מדבור ושל דרדור במערכות האקולוגיות ולחזוק השירותים האקולוגיים. הפעולות מתמקדות בשימור מים וקרקע, מניעת נזקי שיטפונות, הגדלת הייצור הראשוני (הפיכת אנרגיית שמש לביומסה צמחית) ושירותי נופש ופנאי. השיקום מתבסס על מחקר מלווה וממשק המותאם לתוצאות המחקר המלווה.

נייר עמדה זה מתמקד באיומים על השטחים הפתוחים והמערכות האקולוגיות בתוכם, בתהליכי מדבור, במטרות השיקום, בבסיס המדעי של פעולות השיקום, בפעולות הייעור לשיקום ובתוצאות הפעולות, במונחים של שירותי המערכת האקולוגית.

האיום המרכזי על השטחים הפתוחים הוא שהמערכת האקולוגית תיפגע ותידרדר בעקבות שינויים דמוגרפיים ושינויים בשימושי קרקע. פעילות קק"ל בשטחים אלו נועדה למנוע את המשך תהליכי הפגיעה (land degradation) ולשקם את השטחים הפגועים מבחינה תפקודית. השיקום התפקודי מתמקד בשיקום תהליכים במערכות אקולוגיות: מאספקה מועטה בלבד של שירותים – לאספקת שירותים רבים ומגוונים



הרקע לפעילות קק"ל: הנוף התרבותי הרב-תפקודי בצפון הנגב

1

בשיקום (Sayer et al. 2013, Daniel et al. 2012). התפקודי של הנוף התרבותי יש מקום להתפתחות ולשיקום של מערכות אקולוגיות חדשניות (novel ecosystems) שיכולות לספק מגוון שירותים אקולוגיים. מערכת חדשנית היא מערכת המקיימת אינטראקצייה בין רכיבים אביוטיים, ביוטיים וחברתיים. בנגב מתארגנת מערכת זו מעצמה, ויש לה תכונות מבניות ותפקודיות שמותאמות למצע הפיזי שיצר האדם בפעילויותיו במשך אלפי שנים. הנגב משובץ במערכות חדשניות שאפשר לשקמן על-פי עקרונות השיקום התפקודי.

1.1 || שינויים דמוגרפיים

אוכלוסיית הנגב מהווה כ-8% מאוכלוסיית ישראל. בצפון הנגב כ-570 אלף תושבים, מהם כ-180 אלף בדווים. מאז קום המדינה חלו שינויים דמוגרפיים גדולים באוכלוסיית הנגב: האוכלוסייה העירונית גדלה גידול ניכר והמדינה הסדירה הסדרה חלקית את ההתיישבות הבדווית בעירות. מחצית מהאוכלוסייה הבדווית מתגוררת כיום בצפון הנגב ביישובים כפריים לא מוסדרים (Orenstein & Orenstein et al. 2012, Hamburg 2009). הצפי הוא שגודל האוכלוסייה בצפון הנגב בשנת 2020 יגיע ל-1.3 מיליון איש (גרדוס ומאיר-גליצנשטיין 2008). תחזית זו דורשת תכנון ארוך-טווח בעתודות השטחים הפתוחים ובשימושי הקרקע בצפון הנגב.

1.2 || שינויים בשימושי הקרקע

בד בבד עם גידול האוכלוסייה חלו בין שנת 1977 לשנת 2009 שינויים רחבי היקף בשימושי הקרקע בצפון הנגב. העיקרי שבהם הוא המרה של שטחי

פעילות קק"ל בצפון הנגב היא חלק ממארג פעולות הנובעות מהשינוי המתחולל בחבל ארץ זה: לא עוד אזור ממודבר עקב שימושי קרקע בלתי מבוקרים, אלא אזור רב-תפקודי המתמודד עם שינויים דמוגרפיים מהירים. לשינויים בשימושי הקרקע הנובעים משינויים דמוגרפיים יש השפעה ניכרת על המבנה והתפקוד של המערכות הסוציו-אקולוגיות ברמת הנוף, והם מגדילים בדרך כלל את הצורך בשירותי האספקה. ההיענות לצורך זה באה על חשבון שירותי ויסות ותרבות (Foley et al. 2007; Grenfell et al. 2005). התמרה זו בשימושי הקרקע נתונה באינטראקצייה מתמדת עם המבנה הכלכלי-פוליטי-חברתי ועם המדיניות והממשק של שטחים פתוחים (Collins et al. 2010).

צפון הנגב מייצג את הקשר דמוגרפי-סביבה בכל הנוגע לשינויים בשימושי הקרקע ברמה האזורית. זהו אזור עם מבנה דמוגרפי דינמי, מאופיין במגוון שימושי קרקע, ויש בו רגישות סביבתית הן לתהליכי מדבור הנובעים ממקומו הגאוגרפי והן להשפעות אנושיות (Shachak et al. 1998). השינויים הדמוגרפיים והשינויים בשימושי הקרקע מתבטאים לעתים בפגיעה ודרדור של המערכת האקולוגית. פעילות קק"ל בשטחים אלו נועדה למנוע המשך תהליכי הפגיעה במערכות האקולוגיות ולאפשר שיקום תפקודי של השטחים הפגועים ועיצובם במסגרת נוף תרבותי רב-תפקודי. נוף תרבותי הוא סביבה שעיצב האדם ושמשקפת את תרבותו. זהו פסיפס של מערכות בנויות, חקלאיות וטבעיות. הוא מעוצב בדרך של יחסי גומלין מורכבים בין האדם לסביבה הטבעית, לאורך ציר הזמן. נוף תרבותי רב-תפקודי משלב במרחב ובזמן בין שימושי קרקע מגוונים לבין תפקודים אקולוגיים, כלכליים, חברתיים ותרבותיים

באר שבע ליישובים אלו. "חגורה ירוקה" זו מהווה חץ בין העיר לבין היישובים מצפון לה. בצפון הנגב אושרו תכניות מתאר ארציות ומחוזיות (תמ"א ותמ"מ בהתאמה) המגדירות ייעודי שטחים ליער ולייעור.

1.3.1 ||| מצפון לבאר שבע – החגורה הירוקה

על-פי הגדרות תמ"א 22, תכנית המתאר הארצית ליער וייעור, שטחי יער ממזרח לכביש 40 הם "יער נטע אדם קיים", "יער נטע אדם מוצע", "יער פארק קיים", "יער פארק מוצע" ו"חורש טבעי לשימור". ממערב לכביש 40, היער הוא "יער פארק מוצע" ו"יער נטע אדם קיים". על-פי תמ"א 35, השטח שממזרח לכביש 40 הוא "מרקם שמור משולב יער חקלאות ושמורות טבע" והשטח שממערב לכביש 40 הוא "מרקם עירוני". התכנית מוסיפה שבמרקם העירוני הפיתוח יהיה "עירוני קומפקטי" ויבטיח שהשטחים הפתוחים העירוניים והבין-עירוניים ייוחדו לצורכי הציבור. על-פי הגדרת תמ"מ 4/14, תכנית המתאר של מחוז הדרום, השטח הוא "שטח חקלאי, יער וייעור", ובמזרח יש גם שמורת טבע. תמ"מ 4/14/23 אימצה ייעודי קרקע אלו. תכנית המתאר 305/02/7, של המועצה האזורית בני שמעון, ייעדה אף היא חגורה זו כולה ליעור ושטחים פתוחים, והתכנית החדשה של המועצה האזורית, לעניין שטחים פתוחים בלבד, אימצה את ייעודי הקרקע הללו. כמתחייב מ-תמ"א 22 סעיף 35, לעניין תכניות מתאר מפורטות ליער, קק"ל הכינה תכניות יער מפורטות, ואלו אושרו במוסדות התכנון.

1.3.2 ||| מצפון-מזרח לבאר שבע

אזור זה מאופיין בשטחי יער נרחבים – להב, מיתר ויתיר – ואלו כוללים יערות מסוגים שונים לפי הגדרתם בחוק, חקלאות שלחין ובעל ואזורי פיתוח, כפוף לתכניות מאושרות כאמור, הן ברמה הארצית (תמ"א 35, 22, תמ"מ 4/14) והן ברמה המפורטת.

מרעה לשטחים חקלאיים. בשנים אלו ירד שיעור שטחי המרעה בכ-40%, ולעומת זאת שטחי החקלאות גדלו בכ-70% ושטחי הבינוי הכפילו את עצמם.

תחילה היו השטחים החקלאיים בעיקר שטחי בעל לגידולי חיטה ושעורה, והתאפשרה בהם רעייה בשלפים. שטחים חקלאיים אלו פיצו חלקית על אבדן שטחי מרעה. אך המעבר מחקלאות בעל לחקלאות שלחין בעשרות השנים האחרונות הקטין מאוד את זמינותם של שטחי המרעה. התרחבותם של היישובים העירוניים והקהילתיים ושל שטחי האש צמצמה אותם עוד יותר. ואולם הקטנת שטחי המרעה הזמינים לא גררה בעקבותיה הקטנה בהיקף המקנה והבקר בנגב. אורי מלכא (2014, מידע אישי), מנהל הסיירת הירוקה בנגב, מדווח כי בשנת 2001 היו בנגב כ-200 אלף ראשי צאן ובקר, ואילו כיום עלתה כמות ראשי הצאן והבקר ב-25%. עובדה זו משמעותה הגדלת לחץ הרעייה בשל הצורך בשטחים לרעייה והגדלת הנזקים הנגרמים בעקבותיה.

השינויים בשימושי הקרקע יוצרים פסיפס נופי תרבותי רבת-פקודי של שטחי חקלאות ומרעה, שכתמים עירוניים ושטחי יער שזורים בהם. במסגרת זו, קק"ל מטפלת בכ-6% מכלל השטח בצפון הנגב. היעד המרכזי של קק"ל הוא שיקום שטחים ממוזדברים ושילובם בפסיפס הנופיי-תרבותי. בשטחים המשוקמים יש כדי להגביר את הרב-תפקודיות של הנוף התרבותי ולספק שירותי מערכת חדשים, הכוללים שירותי ויסות, תרבות, בתי גידול ואספקה.

1.3 ||| הבסיס הסטטוטורי לנטיעות קק"ל בצפון הנגב

באר שבע, בירת הנגב, מונה כיום כ-200 אלף תושבים ועתידה להתפתח ולגדול בהתאם לתכניות בהכנה – 2020 ו-2030. מצפון לבאר שבע נמצאים היישובים להבים (במזרח), רהט, גבעות בר ותארבין (במערב). יחד יש בהם כ-65 אלף תושבים. רצועה צרה ברוחב כ-8 ק"מ מפרידה בין

1.3.3 ||| מצפון-מערב לבאר שבע

אזור זה חקלאי ברובו, ומשולבים בו, בעיקר בנחלים, שטחי יער על-פי הגדרתם ב"תמ"א 22 ובתכניות המפורטות. שטחי היער בנחלים אלו יבטיחו שרצועות הנחלים יישארו שטחים פתוחים לציבור. שטחים כאלה מונעים סחף קרקע ומסייעים לחקלאות ולמרעה.

1.3.4 ||| קו התפר המזרחי

שטחי היער באזור זה הוסדרו במסגרת תכנית המרחב הביוספרי אמציה-לכיש אשר הוכנה במשותף עם המועצה האזורית, רשות הטבע והגנים הלאומיים והחברה להגנת הטבע.

התכניות המפורטות ליערות (תמ"א 22) טופלו בשנים האחרונות בכל התהליכים הנדרשים לפי חוק ונעשו בהן התיאומים עם כל הגופים, ובהם המשרד להגנת הסביבה, רשות הטבע והגנים הלאומיים והחברה להגנת הטבע. כל התכניות אושרו, והן מהוות חוק לכל דבר ועניין. ביצוע נטיעות תואם את החוק ואף מתחייב ממנו.

התכניות קבעו גבולות מדויקים לשטחי היער וכן תכליות ושימושים מותרים.

נטיעות קק"ל בצפון הנגב אינן רק בגדר זכות שניתנה לקק"ל, אלא הן גם חובה המוטלת עליה, בהיותה מקיימת את מדיניות התכנון הארצית והמחוזית לשמירה על "שטח יער" ועל "שטחים פתוחים" לרווחת התושבים ולמטרות של פעילות פנאי ונופש. ראוי לציין שתכניות במסגרת תמ"א 22 מאושרות במסגרת ועדת המעקב והבקרה המקצועית בראשות המשרד להגנת הסביבה.

נוסף על שטחים הכלולים ב"תמ"א 22, קק"ל נוטעת ומנהלת באופן זמני שטחי מדינה על-פי בקשת רשות מקרקעי ישראל (רמ"י).

הטיפול בשטחים אלו מקצועי ונעשה בדומה למוכתב בתכניות תמ"א 22, מבחינת סקרים והתייחסות לערכי טבע ולאתרי מורשת וארכיאולוגיה. עד לשימוש עתידי בשטחים אלו, הם מספקים שירותים אקולוגיים לציבור.

1.4 ||| תהליכי מדבור בצפון הנגב

לפי "אמנת האו"ם למאבק במדבור" (United Nations Convention to Combat Desertification), מדבור הוא תהליך של פגיעה בכושר הייצור של הקרקע בהשפעת פעילות האדם ושינויי אקלים (UNCCD 1997). האדם השפיע בעבר ומשפיע בהווה על המערכת האקולוגית בצפון הנגב. פעולותיו עיצבו את הנוף התרבותי בנגב לאורך ההיסטוריה והן עדיין מעצבות אותו. לפעולות אלו יש השלכות על פוריות הקרקע ועל כושר הייצור שלה. שלוש המערכות העיקריות האחראיות לתהליכי מדבור בצפון הנגב הן מערכות מרעה, מערכות חקלאיות ומערכות יישוביות.

1.4.1 ||| מערכות מרעה

החדרת מערכות המרעה לנגב לפני כעשרת אלפים שנה היא הגורם המרכזי בהתמרת הנוף הטבעי של הנגב לנוף תרבותי, ובעקבותיה בירידת כושר הייצור של הקרקע. השפעת מערכות אלו על תהליכי מדבור מתבטאת בין השאר בתהליכי סחף קרקע הנובעים מעירוף בנחלים ומנסיגתם של גדות וראשי ערוצים (תמונות 1 ו-2). תהליך דרדור הנוף התרבותי על-ידי מערכות המרעה הוא בעבר ומואץ אף בהווה בשל הצירוף בין ירידה בגודל השטחים המוקצים למרעה ובין אי-הפחתה בכמות בעלי החיים (Molle et al. 2008, Gebril & Saeid 2012, D'Odorico et al. 2013, Kosmas et al. 2013).

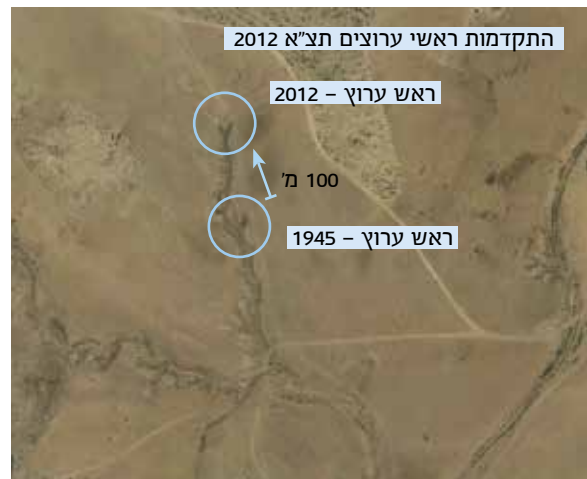
1.4.2 ||| מערכות חקלאיות

החקלאות העתיקה המירה חלק ממערכות המרעה למערכות חקלאיות והפכה את הנגב לנוף תרבותי מורכב יותר. הוספת המערכת החקלאית שינתה לא רק את המבנה הבייתי אלא גם את המיקור-טופוגרפיה של המדרונות ושל האפיקים. השינויים המיקור-טופוגרפיים מקורם במתקנים להטיה ואיסוף של מי נגר (תעלות, תלוליות, סכרים, בורות מים וכד') לצורך חקלאות ושימושים אחרים של



תמונה 1

נזקי סחף קרקע עקב נסיגת ראש ערוץ פעיל בנחל סנסנה, ממערב לקיבוץ כרמים: אחד מראשי הערוצים הפעילים בנחל זה



תמונה 2

תצלומי אוויר: תהליכי סחף קרקע ביוכל משנה של נחל רימון, מדרום ליישוב כרמית: פגיעה רב־שנתית במערכת האפיקית, המשפיעה על כלל חלקי אגן ההיקוות - התחתרות ראשי ערוצים ונסיגת גדות הנחלים; תצלומי האוויר מציגים נסיגה מתמשכת של ראש הערוץ בכ־100 מ' במשך כשישים שנה



תמונה 3

אחד משרידי הסכרים העתיקים שנחל יתיר: האמצעים לאיסוף מי נגר עיצבו כבר בעת העתיקה את פסיפס הנוף התרבותי-חקלאי בצפון הנגב. נטישת המתקנים וחוסר התחזוקה גרמו להתמוטטותם ולתהליכי סחף קרקע

בהווה, שטחים נרחבים מנוצלים לשימוש וממשק פלחה בתנאי בעל. עיבוד הקרקע באותם שטחים, בכלים חקלאיים, אינו מתבצע בהתאם לכללי שימור הקרקע. העיבוד נעשה גם במדרונות תלולים, בקווי עיבוד ארוכים שלא בהתאם לקווי הגובה ובאפיקי זרימה; וכל אלו גורמים לסחף קרקע בהשפעת זרימת הנגר העילי וסחף הרוח (תמונות 5א ו-5ב). הימצאותם והרחבתם של מבנים חקלאיים רחבי היקף, כגון חוות לולים ובתי אריזה, מגבירות אף הן את הנגר והסחף.

האדם, במטרה לשמר קרקע ולהגדיל את כושר הייצור שלה (תמונה 3).

מהפכים חברתיים ותמורות אקלימיות גרמו לנטישת אתרי החקלאות העתיקה, אולם שרידיה הפכו לחלק מהנוף התרבותי (לאודרמילק 1943, Evenari et al. 1982); (תמונה 4).

אתרי החקלאות העתיקה, משמרי הקרקע והייצור הראשוני, הוזנחו בעבר, והידרדרותם היא חלק מתהליך המדבור. גם הממשק הנהוג כיום בנגב גורם להמשך הפגיעה במערכת החקלאות העתיקה ולהידרדרותה.



תמונה 4

שרידי גת עתיקה בגבעות בר: הגת מעידה על התרבות החקלאית המפותחת בעת העתיקה באזור שמצפון לבאר שבע. תרבות חקלאית זו שינתה כבר בעת העתיקה את נוף צפון הנגב לנוף תרבותי חקלאי



תמונה א5

אזור נחל יתיר – נוף אופייני בשטחי הלס: פגיעה במשאב הקרקע בעקבות תהליכי סחף, בהשפעת ממשק פלחה־מרעה בתנאי בעל

תמונה ב5

נגר וסחף בשטחי פלחה־בעל בנגב המערבי





תמונה 6

השלכת פסולת בשולי יישוב בצפון הנגב. אתרי הפסולת הם גורם בדרדור המערכת האקולוגית

וחציבה וכן אתרי שפיכת פסולת ואשפה לא חוקיים (תמונה 6). כל אלה מגבירים את תהליכי דרדור המערכת האקולוגית.

1.5 || סיכום

צפון הנגב הנו נוף תרבותי. שינויים דמוגרפיים ושינויים בשימושי קרקע בעבר ובהווה גרמו וגורמים באזור זה לתהליכי מדבור ולפגיעה במערכת האקולוגית. פעולות קק"ל בהווה מיועדות לשיקום שטחים ממודברים ומשתלבות במגוון שימושי הקרקע באזור. שיקום תפקודי זה מגביר את שימור משאבי המים והקרקע ובעקבותיו את שימור המשאבים הבינתיים. הפעולות נעשות לשיקום אקולוגי ולרווחת התושבים, על בסיס מחקר אקולוגי וחוקיות סטטוטורית.

1.4.3 || מערכות יישוביות

הרחבת השטח המבונה לצורכי התיישבות עירונית וכפרית בנגב וכן הממדים הנרחבים של הבנייה הלא חוקית, משמעותם הקטנת כושר החידור למי הגשם של פני השטח וכן הגדלת שיעור הנגר. באין הנחיות ויישום בקנה מידה רחב לעקרונות "הבניה משמרת נגר", מי הנגר מכבישים, מאזורי תעשייה, מאתרי חניה וכו' מגבירים את הזרימה באפיקים הסמוכים לשטחים המבונים. זרימה זו מאופיינת בספיקה ובכמויות גבוהות הגורמות לנזקי סחף במורד הזרימה. הרחבת תשתיות התחבורה בנגב משפיעה אף היא על הגברת הזרימה של מי הנגר ובכך היא מגדילה את נזקי הסחיפה. השטחים סביב היישובים משמשים במקרים רבים מכלאות צאן ואתרי מרעה לא מבוקרים, אתרי כרייה

רקע מדעי לתהליכי מדבור ופעולות קק"ל לשיקום תפקודי בצפון הנגב

2

2. ידע על מבנה המערכת בהווה, תפקודה, מצבה ואפשרויות שיקומה בעתיד;
3. מחקר מלווה וממשק סתגלני לפעולות השיקום, לצורך בחינה של השפעת פעולות השיקום והשתלבותן בתפקודי המערכת הרצויים.

2.1 || הרקע המדעי לתהליכי מדבור

שימושי הקרקע בנגב כללו בעבר חקלאות, אגירת מים באמצעות סכרים ותעלות, רעייה לא מבוקרת וכריתת עצים ושיחים (תמונה 7). הם גרמו לשינויים במגוון הנופי ובמגוון המינים והשפיעו על קצב התהליכים האקולוגיים הקשורים למשק המים ולאיכות הקרקע (Avni et al. 2012, Ore & Bruins 2012, Leu et al. 2014, Shahack-Gross et al. 2014). השינויים במגוון המינים שמקורם בשינויים

שיקום תפקודי חייב להתבסס על ידע של מורכבות המערכת האקולוגית והמשובים המכוונים אותה למסלולים של דרדר או שיקום. חשוב להכיר את פעילות המערכת ואת תכונותיה, כגון איכות קרקע, משק מים, ייצור ביומסה ומגוון ביולוגי. פעולות האדם עלולות לדרדר את תפקודי המערכת ואת התכונות הנובעות מפעילותה. ואולם, ממשק מיטבי המשתלב בתפקוד המערכת עשוי לשפר את תכונותיה ואת התועלת שיש בה לאדם (Schwilch et al. 2013, Fleskens & Stringer 2014).

להלן תנאים נדרשים לצורכי השיקום התפקודי של המערכת האקולוגית:

1. ידע על שימושי הקרקע והשינויים שהאדם עשה בה בעבר והשפעתם על תפקוד המערכת בהווה;



תמונה 7

השינויים הנופיים שביצע האדם בנגב עוד לפני קום המדינה - צילום אוויר מ־1945: מערכת סכרים לאיגום מים באפיק, שטחים חשופים בעקבות עיבודים חקלאיים במדרונות, רעייה וכריתת עצים ושיחים וכן ערוצים פעילים המעידים על תהליכי סחף קרקע

את הייצור הראשוני והשניוני, את תהליכי הפירוק והמחזור של היסודות ואת ההרכב והחברה של הצומח ובעלי החיים (Boeken & Shachak 1994).

על סמך מחקרים אקו־הידרולוגיים ארוכי־טווח בתחנות "שקד" ו"להבים" מוצע מודל כללי להבנת המבנה והתפקוד האקולוגי של אזור צפון הנגב (Boeken & Shachak 1994, 1998, Boeken & Orenstien 2001, Eldridge et al. 2002, Karnieli et al. 2002, Wright et al. 2006, Buis et al. 2008). מודל זה משמש בסיס להערכת מצב המערכת ותפקודה כיום ובעבר ומפת דרכים לשיקום תפקודי של מערכות ממודברות.

המודל מתבסס על ממצאים רבים, ולפיהם התהליך המרכזי המעצב את המבנה והתפקוד של מערכות צפון הנגב הוא הפיזור מחדש של מי הגשמים על־ידי הנגר העילי ויצירת הטרוגניות מרחבית בלחות הקרקע.

הטרוגניות זו באה לידי ביטוי בפסיפס מרחבי של כתמיות המורכבת מכתמים עשירים או דלים בלחות קרקע, אלה לצד אלה, בסקאלות מרחביות שונות. בכתמי הקרקע המועשרים במים, הלחות גבוהה ומעמיקה לחדור. לולא יצירת הכתמים המועשרים בלחות קרקע היו רוב מי הגשמים החוזרים לקרקע מתאדים והייצור והמגוון הביולוגי היו נמוכים ביותר. תכולת המים הגבוהה בכתמי הקרקע המועשרים במים מאפשרת הגדלה של הייצור הראשוני ומגוון המינים בכתמים אלו. הבסיס התפקודי המרכזי של המערכת הוא אפוא ריכוז מי נגר ויצירת כתמי קרקע בעלי לחות גבוהה. לעומת כתמי קרקע אלו, קרומי הקרקע מקטינים את חדירת מי הגשמים לאורך זמן, ועקב כך נוצר נגר עילי (Zaady & Shachak 1994).

הגורמים ליצירת כתמיות המים הם יחסי הגומלין התפקודיים בין קרומי הקרקע הביזויים וכתמי הקרקע חסרי הקרומים הנוצרים מתחת לחופת המעוצים (Oren 2000, Leopoldo et al. 2014). הקרקע מתחת לחופות המעוצים שונה בתכונות הפיזיות־כימיות־ביולוגיות מקרומי הקרקע שבין המעוצים. קרקע זו מפוררת ועשירה בחומר אורגני ובמערכת שורשים היוצרת נקבוביות בקרקע

הנופיים ובשימושי הקרקע הם בין השאר במגוון העשבוניים, במגוון המעוצים ובצפיפותם ובמארג המזון של בעלי החיים הנשען על האנרגיה והחומרים של המעוצים והעשבוניים. השינויים בנוף ובמגוון שזורים בשינויים החלים בתהליכים אקו־סיסטמיים שמתבטאים בשטפי המים, בקרקע ובייצור הראשוני (Shachak et al. 1998, Rango et al. 2006, Li et al. 2008, Mayor et al. 2008, Okin et al. 2009).

שינויי השימושים בקרקע ובנוף גרמו בעיקר להגדלת השטח המכוסה בקרומי קרקע ביזויים (קרומים הנוצרים מהידבקות חלקיקי הקרקע על־ידי ציאנו־בקטריות, חזזיות וטחבים). קרומים אלו התפשטו עקב הקטנת השטח המכוסה במעוצים. עם התפשטותם הקטינו את חדירת המים לקרקע ויצרו נגר עילי שנשטף מן המערכת, ובכך גרמו לאבדן מים. תהליכים אלו הביאו לידי הקטנת הייצור הראשוני על־גבי המדרונות. השינויים במדרונות השפיעו בקנה מידה רחב על תהליכים באפיקים וגרמו לשיטפונות, ובעקבותיהם נהרסה צמחיית האפיקים וסחיפת הקרקע הוגברה (Avni et al. 2005, Avni et al. 2006).

למרות השינויים שהתרחשו בנוף הנגב בעבר ומתרחשים בהווה בעקבות פעילות האדם, המבנה והתפקוד הבסיסיים של הנוף עדיין ניתנים לפענוח בעזרת מחקר. המחקר מכוון לגילוי הקשר בין משאבים ובין ייצור ביולוגי על סמך מבנים נופיים ושטפי מים וקרקע בהווה.

המחקר ארוך הטווח בתחנות LTER בנגב (Long Term Ecological Research – תחנות מחקר וניטור־מלווה ארוך־טווח, במסגרת רשת ארצית, שהקימה קק"ל) זיהה כי המבנה הנופי הבסיסי של צפון הנגב הוא פסיפס דו־כתמי של כתמי מעוצים (בני שיח, שיחים ועצים) וקרומי קרקע ביזויים (Turnbull et al. 2012, Bowker et al. 2014, Kidron et al. 2014, Leopoldo et al. 2014).

המבנה הנופי הדו־כתמי מכתיב את תפקודי המערכת על־ידי ויסות תהליכי זרימת המים והקרקע במערכת האקולוגית. תהליכים אלו קובעים את הדינמיקה של לחות הקרקע המווסתת



תמונה 8

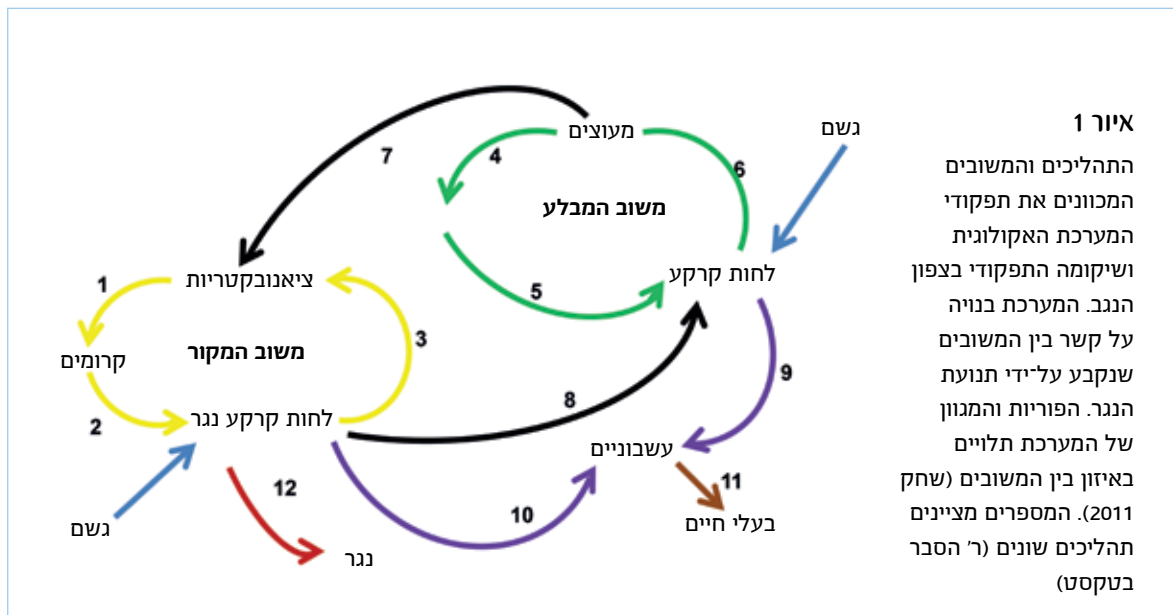
היחידות הבסיסיות של המערכת הנופית הביוטית בצפון הנגב: הקרומים המשמשים מקור ליצירת נגר והשיח המעוצה המשמש מבלע למים, קרקע ונוטריאנטים. הקרומים חשופים יחסית מצמחייה; העשבונים מרוכזים בעיקר מתחת לשיח

ככל שיגדל מספר הכתמים המועשרים בלחות הקרקע ודרגת העשרתם במים תהיה גבוהה יותר, יגדלו גם הייצור והמגוון הביולוגי של המערכת האקולוגית. הגדלת הייצור והמגוון מלוּּה בהגדלת שירותי המערכת. הפרעות אדם, כגון חקלאות, כריתת מעוצים ורעייה, מקטינות את מספר הכתמים המועשרים בלחות קרקע, ועקב כך, המערכת מידרדרת, הייצור והמגוון הביולוגי קטנים בהדרגה ושירותי המערכת מצטמצמים (Peters et al. 2012, Eldridge et al. 2013, Soliveres et al. 2014). המערכת האקולוגית בצפון הנגב מייצרת ביר מסה צמחית, מארגי מזון ושירותים אקולוגיים לרווחת האדם. הבסיס לתפקוד המערכת הוא יחסי מקור־מבלע למי הגשמים. אפשר לתאר יחסים אלו באמצעות מודל של משוברים (איור 1). מודל המשוברים מאפשר לנתח את תגובת המערכת להפרעות או לתהליכי שיקום במושגים של "כתמיות", "לחות קרקע" ו"ייצור ביולוגי". מודל זה עשוי להתריע מפני הידרדרות המערכת ולסייע בבחינת מידת ההשתלבות של פעולות השיקום בתפקודי המערכת הרצויים. במערכת צפון הנגב זהו שני משוברים חיוביים:

(Segoli et al. 2008). מאפיינים אלו מקנים לה רמת חדירות גבוהה למי גשמים ולמי נגר ויוצרים כתמים עשירים בלחות קרקע.

בצפון הנגב אפשר למצוא את הכתם הקרומי והכתם המעוצה זה ליד זה בתוך פסיפס נופי דו־כתמי, והם מקיימים ביניהם קשרים תפקודיים. הכתם הקרומי משמש מקור של מים, קרקע, נוטריאנטים וחומר אורגני, ואלה מובלים בנגר העילי לכתם המעוצה. הכתם המעוצה מסוגל "לבלוע" את הנגר העילי ואת החומרים שהוא מוביל. היחסים התפקודיים של תנועת המים והחומרים בין שני סוגי הכתמים מכונים "יחסי מקור־מבלע". יחסים אלו מווסתים את הייצור והמגוון הביולוגי ואת פיזורו במרחב צפון הנגב (Oren 2000). בכתמי המקור (הקרומים), הייצור הראשוני נמוך ומספר המינים ומספר הפרטים מכל מין נמוך גם הוא. בכתמי המבלע (המעוצים), הייצור הראשוני גבוה ומספר המינים ומספר הפרטים מכל מין גבוה גם הוא (תמונה 8).

מה שקובע את רמת התפקוד של המערכת כולה ברמת הנוף הוא מספר הכתמים המועשרים בלחות קרקע ודרגת העשרתם במים. במשטר גשמים נתון,



את מערך כתמי הקרקע המועשרים בלחות, ויש לכך ביטוי גם בנוף. בסיכומו של דבר, כתמים אלו משפיעים על הייצור והמגוון הביולוגי (תהליכים 9, 10, 11) ועל המבנה והתפקוד של המערכת כולה.

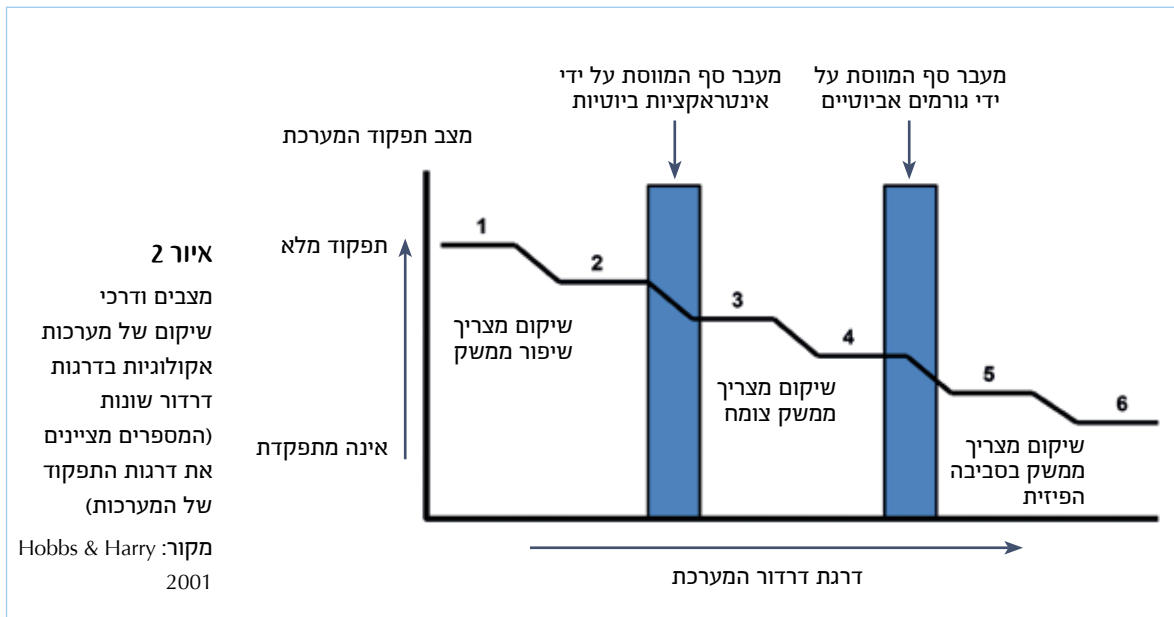
מודל המשובים במערכת האקולוגית מאפשר תחזיות על התנהגות המערכת בתנאים משתנים: כך למשל אפשר לצפות כי אם יושמדו מעוצים בשל רעייה ואם ייכרתו עצים ושיחים, משוב המבלע יקטן ביותר, יתפשטו הקרומים, ומשוב המקור יהיה שוב פעיל. במקרה זה תיווצר מערכת דו־כתמית שיש בה שטחי מקור נרחבים ושטחי מבלע מצומצמים. יכולת שימור המשאבים במרקם חדש כזה של יחסי מקור־מבלע תקטן: מים, קרקע, חומר אורגני ומינרלים יאבדו מן המערכת (איור 1, תהליך 12). על כל המשתמע מכך לגבי הייצור והמגוון הביולוגי, וכך ייווצר המצב הממודבר.

בדומה אפשר לצפות את השפעות הממשק המייצר מבלעים למים מעשה ידי אדם במדרונות ובאפיקים. מבלעים כאלו משפיעים על שימור משאבי קרקע ומים, ייצור ראשוני ומגוון ביולוגי: הם משקמים את תפקוד המערכת ואת איכותה של הקרקע, את משק המים, את ייצור הביומסה ואת המגוון הביולוגי.

מודל המשובים מראה שהמערכת האקולוגית בצפון הנגב יכולה להתקיים בשלושה מצבים:

משוב המקור (איור 1, תהליכים 1, 2, 3) ומשוב המבלע (תהליכים 4, 5, 6). ראשיתו של משוב המקור ביצירת קרומי קרקע על-ידי הציאנו־בקטריות. הקרום מייצר נגר הגורם להתפשטות הציאנו־בקטריות ובעקבותיה להתפשטות הקרום. התפשטות הקרום מייצרת נגר נוסף המגביר עוד יותר את ההתפשטות במרחב של הקרומים. אם לא תהיינה הפרעות להתפשטות הקרום במרחב, עם הזמן יכסו הקרומים את השטח כולו.

ראשיתו של משוב המבלע בנביטה של צמחייה מעוצה. הצמחייה ניזונה ממי נגר שמקורם בקרומים. המשוב מתחזק עם הגברת חדירות הקרקע למים מתחת למעוצים בשל מערכת השורשים ונשר עלים (Zaady et al. 2004, Segoli et al. 2008). שני המשובים במשותף גורמים לגידולם של כתמי המעוצים וכתמי קרומי הקרקע, והם יוצרים נוף דו־כתמי המקיים יחסי מקור־מבלע. בסופו של דבר, הקשר בין המשובים מייצב את המערכת: גידול כתמי המבלע המעוצים בא על חשבון שטח כתמי המקור הקרומיים (איור 1, תהליך 7), אך בעקבותיו הנגר למעוצים קטן וגדילתם נפסקת (איור 1, תהליך 8). תהליכים ומשובים אלו יוצרים בסופו של דבר מערכת יציבה דו־כתמית. מערכת זו מנצלת בצורה אופטימלית את משאבי המים, הקרקע והנוטריאנטים. כמו כן, המשובים קובעים



בדרגות הידרדרות גבוהות – קרי, במצב ממודבר - מצב שיש בו "ברייח" משאבים המתבטאת למשל בעיקר בסחף קרקע (איור 2, מצבים 5 ו-6), שיקום הצומח בלבד אינו מספק ויש לנקוט פעולות ממשקיות המשנות את התשתית הפיזית כדי שהמערכת תשמר משאבים.

אמצעים המשנים את התשתית הפיזית מיועדים למניעת סחף קרקע וליצירת הזדמנויות להצטברות קרקע והתפתחותה.

כדי לבדוק כיצד לשקם את משוב המבלע ולברר בכל מקרה לגופו אם אפשר להשתמש בשיקום הביזי בלבד או שיש לשנות את התשתית הפיזית, הוקמה מערכת ניסויית לבחינת השתקמות משובי המקור והמבלע (Boeken & Shachak 1998).

המערכת הניסויית בדקה את קצבי השיקום של שני המשובים לאחר הריסתם. נמצא שמשווב המקור מתחדש בתוך 10-20 שנה. כלומר כיסוי קרקע בקרומים הוא תהליך קצר מועד. המשמעות היא שמערכת חקלאית שננטשת או מערכת רעייה המכלה את המעוצים מתכסה בתוך זמן קצר בקרומים והופכת למערכת מקור במצב הידרדרות גבוה. השתקמות ביזית להשבת משוב המבלע היא תהליך ארוך-טווח הנמשך מאות שנים (Shachak et al. 1998, Yelenik & Levine 2010, Browning & Archer 2011).

(א) מצב מתפקד, (ב) מצב ממודבר, (ג) מצב משוקם. עד לפני כעשרת אלפים שנה, לפני תחילת ההפרעות האנתרופוגניות, תפקדה המערכת ביחסים מיטביים בין שטחי מקור ומבלע (Avni et al. 2012). מאוחר יותר הביאו ההפרעות האנתרופוגניות - רעייה, חקלאות וכריתה - לידי השתלטות משוב המקור, וזו מיקמה את המערכת ברמת פעילות נמוכה הידועה בשמה "מצב ממודבר" (Yair 2013, Vanmaercke et al. 2011, Bruins 2012). אפשר לשקם את המערכת הממודברת בדרכים שונות. הדרך הראויה תיקבע בהתאם לדרגת ההידדרות של המערכת (Hobbs & Harry 2001). (איור 2).

בדרגת הידרדרות נמוכה, גם ההתערבות הממשקית יכולה להיות נמוכה. לדוגמה, אם עומס הרעייה גורם לנזקים קטנים בלבד בייצור ביומסה מרעית (איור 2, מצב 2), ממשק להורדת עומס הרעייה יכול להחזיר את המערכת לתפקודה התקין (איור 2, מצב 1).

בדרגת הידרדרות בינונית (איור 2, מצבים 3 ו-4), ההתערבות הממשקית חייבת להיות אינטנסיבית יותר ולהתמקד בגורמים הביזיים (Hobbs & Harry 2001); לדוגמה, אם עומס הרעייה גורם להכחדת מינים המייצרים מרעית, הממשק יכול להתמודד עם מצב זה על-ידי השבה של המינים שנכחדו.

הגברת יציבות הנוף, לשם מניעת הידרדרות הנוף ולשם הוספת שירותי מערכת. שירותי המערכת כוללים שירותי ויסות, שירותי תרבות ונופש, שירותי בית גידול ושירותי אספקה. אלו משתלבים במרחב של הפסיפס הנופית-תרבותי ומכוונים לקידום מטרות אקולוגיות וחברתיות. הפעולות מתבצעות בראייה אגנית ובעקבות סקרים שמטרתם להעריך עד כמה מצבה של המערכת מדורדר והיא דורשת התערבות ממשקית. הפעולות מבוססות על ויסות "יחסי מקור-מבלע", והן כוללות אמצעים לשימור קרקע ולאיסוף מי נגר, נטיעה, עידוד הצומח הטבעי ורעייה מבוקרת. איסוף מי הנגר והגדלת לחות הקרקע מאפשרים לנטוע עצים, ובזכותם מתאפשרת גם התפתחות של שיחים ועשבונים. פעולות הנטיעה ואיסוף מי הנגר (המכונות גם קציר נגר) מתבצעות בכשליש משטח האגן, אך הן מאפשרות את שיקום האגן כולו (תמונות 9 ו-10). איסוף מי הנגר במדרונות מתבצע באמצעות סוללות עפר הערוכות בקווי גובה – "שיחים", ובאפיקים באמצעות סכרונים עפר/אבן – "לימנים". תהליך השיקום משלב כתמי עצים, שיחים ועשבונים עם שדות חקלאיים, יישובים ושטחי מרעה (תמונות 11, 12, 13, 14 ו-15). פעולות אלו משתלבות בנוף התרבותי-היסטורי של הנגב. סוגי העצים והרכב הנטיעות מותאמים להטרונגיות המרחבית בנוף ובלחות הקרקע, למאפייני בית הגידול, למסורת החקלאית שהייתה נהוגה באזור,

פעילות ממשקית הכוללת הקמת מבלעים פיזיים בקרקע ונטיעת מעוצים גורמת לשינויים במבנה הקרקע ולהפיכת הכתם שמתחת לחופת המעוצים לאזור מבלע למי נגר, והיא מקצרת ביותר את זמן השיקום של משוב המבלע.

ממצאים אלו מעידים שאסטרטגיה לשיקום המערכת המדורדרת בהווה אינה יכולה להסתפק בהסרת ההפרעות שגרמו להידרדרות; עליה להציע פעולות ממשקיות שמשחזרות את התפקודים המיטביים של מערכת יחסי המקור-מבלע.

המערכת הממודברת העכשווית היא מערכת במצב דרדר גבוה (איור 2, מצבים 5 ו-6) וכדי שהמערכת תשמר משאבים יש לנקוט פעולות ממשקיות המשנות את התשתית הפיזית. הדגש בפעולות כאלו הוא על שחזור תפקודים ומשובים הקשורים למשק הקרקע והמים. שיקום תפקודי מסוג זה מאפשר לקיים מערכות אקולוגיות המתפקדות ברמות גבוהות של ייצור ביולוגי ומשתלבות בנוף התרבותי.

2.2 || פעולות קק"ל לשיקום תפקודי בצפון הנגב

פעולות קק"ל בנוף התרבותי: שיקום מערכות אקולוגיות והשתלבות בפסיפס הנופי
פעולות קק"ל בצפון הנגב מתמקדות בשיקום שטחים ממודברים לשם שיפור תפקודם במסגרת



מקרא	
שטח אגן היקוות בדונם	4130
שטח תלמים בדונם	1098
שטח לימנים בדונם	368
שטח פתוח בדונם	2664

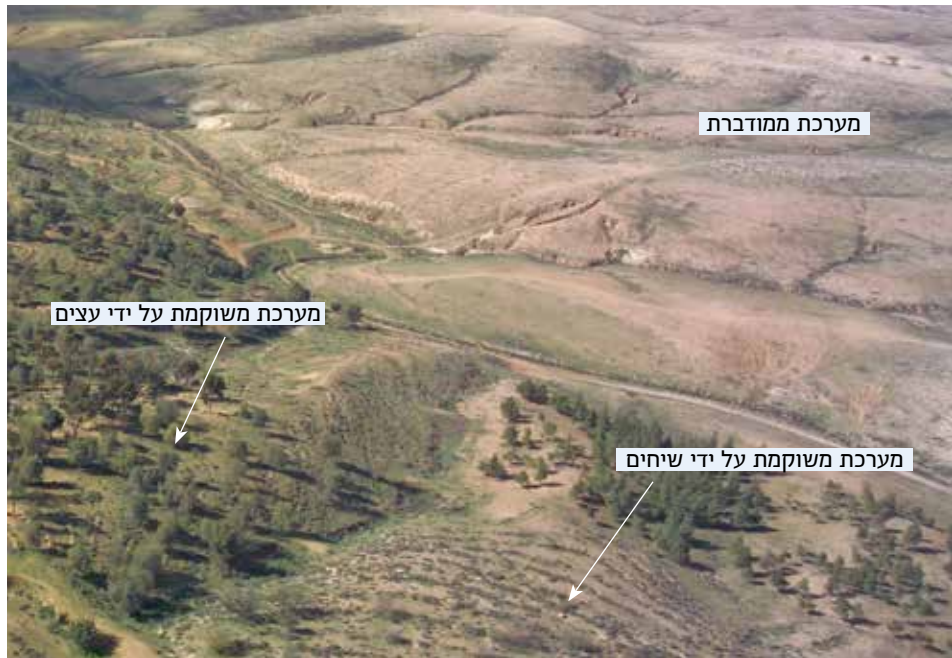
תמונה 9

אגן מטופל בשיטות קציר נגר: שטחי השיחים והלימנים מהווים כ-35% מכלל האגן. ביתר שטחי האגן מתאפשר שיקום המערכת השיחנית קנה מידה: 1:12,500



תמונה 10

אגן מטופל מצפון לבאר שבע:
 השטחים שאינם נטועים מהווים כ-65% מכלל האגן. בשטחים אלו מתרחש שיקום של המערכת השיחנית



תמונה 11

מערכת ממודברת:
 שיקום תפקודי באמצעות עצים, שיקום טבעי באמצעות שיחים



ג



ב



א

תמונה 12

שיקום שטחים ממודברים באמצעות איסוף מי נגר ונטיעות: א. קליטת מי הנגר בשיחים (חורף) ב. ייצור עשבוניים בשיחים (חורף - אביב) ג. מראה כללי של שטח משוקם - מערכת אקולוגית דמוית סוואנה (קיץ)

2.2.1 || פעולות קק"ל בגבול השטחים החקלאיים

באתרים רבים בצפון הנגב, באגני הנחלים לכיש, שקמה, באר שבע והבשור, החקלאיים נוהגים לעבד את כל חלקי האגן, ובהם את גדות האפיקים, ובמקרים רבים גם את הגאיות ואפיקי הזרימה הראשיים. בעקבות פעילות זו ובעקבות הזנחה רב־שנתית יש פגיעה במערכת האפיקית, וזו משפיעה על כלל חלקי אגן ההיקוות. הפעילות החקלאית האחראית לפגיעה בצומח ולהגברת הנגר עודדה התפתחות תהליכי סחף קרקע בהיקף נרחב במדרונות ובאפיקים. בין השאר נוצרו ערוצים עמוקים ששיעור התפתחותם עלול להגיע לעשרות מטרים בשנה בממוצע.

לייעוד בתכנית המתאר ולשימוש הצפוי בשטח. מגוון סוגי העצים הוכיח עמידות לתקופות בצורת ולנזקיהם של בעלי החיים והאדם.

באתרי איסוף הנגר בעמקים ניטעים בדרך כלל מיני בוסתן ועצי ארץ ישראל מדגם החקלאות שהייתה נהוגה באזור בעבר, למשל שקמה, תות, תאנה, חרוב, שיץ ושיטה. חומר הריבוי לייצור שתילים לסוגים אלו הנו מקומי. הניסיון ארוך־הטווח מלמד על שרידות עצי האורן בבתי גידול סלעיים בדרום השפלה והר חברון וכן על הצלחה לסוגים כגון שיטה, אקליפטוס ואשל במדרונות שבהם הקרקע סחופה. יש לציין שזה למעלה מ־15 שנה הופסקו הייצור והנטיעות של מינים שהוכחה פלשנותם, כגון שיטים ממקור אוסטרלי.



תמונה 13 א

תצלום אוויר של נחל אסף עשר שנים לאחר שיקום

הערוצים, שימור הקרקע והמים ומניעת פגיעה עתידית בשטחים החקלאיים שבמעלה האגנים (תמונה 13 א, ב).

פעולות קק"ל לאורך האפיקים בצפון הנגב מאפשרות קיום רצועת מגן אקולוגית העוטפת את אזורי האפיקים, מגנה עליהם וקוטעת את רצפי העיבוד וזרימת הנגר מהשטחים החקלאיים. רצועה זו מווסתת את זרימת הנגר והסחף ומצמצמת תנועת מזהמים (כגון חומרי הדברה ודישון) לערוצי הנחלים

2.2.2 ||| פעולות הייעור של קק"ל במעטפת היישובית

שטחים נרחבים במעטפת היישובית בנגב ממודברים בשל עיבודי קרקע לא משמרים, רעייה וכריתה לא מבוקרות, אתרי כרייה וחציבה וכן בשל הגברת כמויות הנגר שמקורו באזור המבונה

פעילות קק"ל לאורך האפיקים מונעת את המשך העיבוד החקלאי ויוצרת רצועת מגן אקולוגית העוטפת את אזורי האפיקים, מגנה עליהם וקוטעת את רצפי העיבוד. רצועה זו מווסתת את זרימת הנגר והסחף ומצמצמת תנועת מזהמים למורד הזרימה, ובהם חומרי הדברה ודישון. במלכודות אבק שהונחו מתחת לחגורת העצים שניטעו בוואדיות נמצאו כימיקלים שמקורם בחומרי הדברה מהשדות החקלאיים הסמוכים. רצועת היער שנטעה קק"ל היא שעצרה אפוא את תנועת האבק וכך מנעה את שטיפת המזהמים לערוצי הנחלים ולאזורים מיושבים סמוכים (צעדי 2013).

פעולות קק"ל כוללות גם הטיה ואיסוף של מי הנגר, ייצוב ראשי הערוצים הפעילים, ויסות הרעייה, מניעת כריתת שיחים וטיפול במפגעי אשפה. הן השתילים הניטעים על-ידי קק"ל והן הצומח הטבעי מתפתחים במערכת ומאפשרים ליצור רצועת מגן אקולוגית לצורך שיקום מערכות



תמונה 13 ב

נחל צידה: רצועת נחל משוקמת



תמונה 14
 "החגורה הירוקה"
 במעטפת היישוב
 מיתר



תמונה 15
 ראש ערוץ מיוצב
 ונטיעות באפיק נחל
 ב"חגורה הירוקה"
 העוטפת את מיתר

מתקני איסוף הנגר והנטיעות הם חלק מהנוף התרבותי בנגב. למרות הכריתה, הרעייה והעיבודים החקלאיים, בכל מרחב צפון הנגב יש כיום עצים טבעיים בצפיפות נמוכה (שיזף מצוי, שיטה סלילנית ואלה אטלנטית). תצלומי אוויר משנת 1945 מלמדים כי עצים אלו היו בצפון הנגב כבר בתחילת המאה הקודמת (תמונה 16א). העצים הטבעיים מרמזים שטרם תהליכי המדבור היה בצפון הנגב נוף דמוי סוואנה (תמונות 16א, 16ב, 17,

ובתשתיות (כבישים, מסילות ברזל ודרכים). תופעת השלכת פסולת ואשפה נפוצה בשולי יישובים רבים בצפון הנגב. פעילות השיקום במעטפת היישובית כוללת טיפול במפגעי אשפה, איסוף מי נגר לביסוס נטיעות עצים וצומח טבעי וכן הקטנת סכנת השיטפונות ותהליכי סחף הקרקע (תמונות 14 ו-15). האמצעים לאיסוף מי נגר כוללים סכרונים עפר ואבן (לימנים) באפיקים וכן תלמים ושיחים במדרונות.

א



ב



תמונה 16

עצי שיטה ושיזף ב־1945 (א16)
וכיום (ב16) מצפון לבאר שבע
(צילומי אוויר מ־1945 ו־2006,
בהתאמה)

תמונה 17

עץ השיזף ואחד מעצי השיטה
המופיעים בתצלומי האוויר
מ־1945 ומ־2006 (ראו תמונה
ב16)



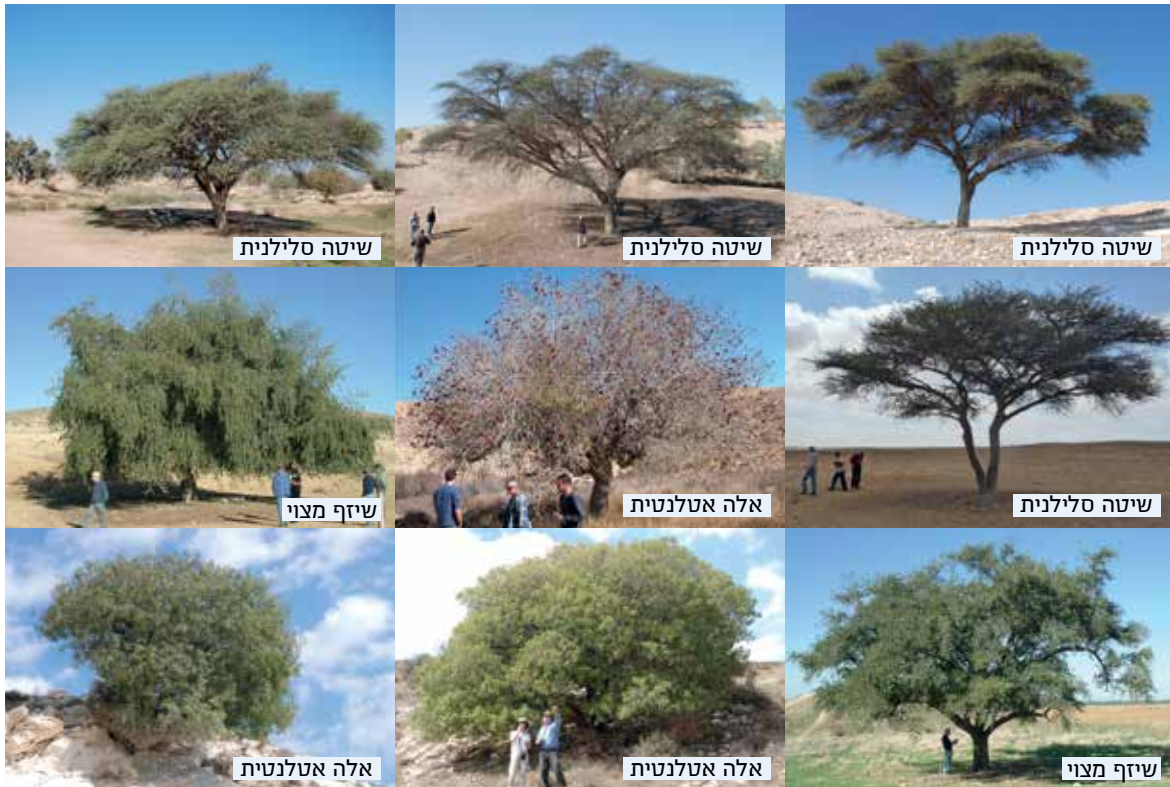
תמונה 18

עץ שיטה בוגר שנפגע ומת, סמוך לשדה תפוחי אדמה בנגב המערבי



תמונה 19 (למטה)

תמונות מייצגות של עצי שיטה סלילנית, שיזף מצוי ואלה אטלנטית טבעיים בצפון הנגב



התרבותי בחגורה אקולוגית של עצים, שיחים ועשבוניים העוטפת את היישובים.

2.3 || פעולות קק"ל לשיפור מערכת הרעייה

מערכת הרעייה בנגב הולכת ומצטמצמת וכבר אינה רכיב עיקרי בפסיפס הנופית-תרבותי. התפתחות זו היא תוצאה מפיתוח היישובים והחקלאות. עם זאת, במסגרת טיפול אגני, קק"ל אוספת מי נגר בגבול

1971). ראוי לציין בהקשר זה כי גם בימינו מתרחשת תמותת עצים בהשפעת האדם (תמונה 18).

עוד אפשר למצוא בצפון הנגב שרידים של מתקני חקלאות מסורתית לשימור קרקע ומים, המתבססים על סכרוני עפר או שילוב של עפר ואבן. במתקנים אלו גידלו בעבר עצי בוסתן, כגון חרוב, תאנה, תות, שקד, תמר ואשל ששרדו ברחבי צפון הנגב (תמונה 20 ועל סמך תצ"א משנת 1945).

בנייה מחדש באמצעים מודרניים של מתקנים לאיסוף מי נגר מאפשרת לשחזר את הנוף

תמונה 20

חקלאות מסורתית - עץ
שקמה במעלה סכרון עפר
מצפון-מזרח לקיבוץ משמר
הנגב



למגוון פעולות השיקום של קק"ל ערך מוסף גבוה במסגרת הנוף התרבותי הרב-תפקודי. הן יוצרות מערכת מגוונת של עצים, שיחים ועשבונים המשמשים מסד גם לרמות טרופיות גבוהות יותר. האתרים שקק"ל שיקמה הנם שטחים ציבוריים פתוחים, וקק"ל מנהלת אותם לרווחת התושבים ולשימושם (תמ"א 22, Tal 2013).

פעולות קק"ל מתמירות מערכות אקולוגיות ממודברות לכדי מערכות אקולוגיות רב-תפקודיות, ואלה גובלות בפסיפס שימושי השטח בנגב ומשתלבות בהם.

השטחים החקלאיים ובמעטפת היישובית ובכך היא מגדילה את הייצור הראשוני של העשבונים, וזה משמש מרעית לצאן ומסייע לאוכלוסייה המקומית. מערכת מבוססת על עצים ועשבונים היא מערכת אידאלית לצורכי רעייה, הואיל והיא משלבת מרעה עשבונים ומעוצה באיכות גבוהה באזורים שעצים מצלים עליהם (תמונות 21, 22).

2.4 || סיכום

ב-25 השנים האחרונות שיקמה קק"ל את תפקודם של שטחים שאופיינו בדרגת מדבור גבוהה בצפון הנגב.



תמונה 22

עדר צאן בצל עצי אקליפטוס בלימן בצפון הנגב



תמונה 21

רעיית צאן בעמק שיש בו מתקנים לאיסוף מי נגר

מחקר וניטור מלווה בפעולות השיקום של קק"ל בצפון הנגב

3

כדי לבחון את הנחות היסוד הללו הקימה קק"ל תחנות למחקר ולניטור מלווה ארוך-טווח, תחנות LTER (Long Term Ecological Research), במסגרת רשת ארצית. מערך המחקר והניטור מתבסס על תחנות אלו ועל אתרי ניטור ברחבי הנגב (איור 3). בתחנות נבחנים המנגנונים האקולוגיים הקובעים את שימור המשאבים ואת היצרנות. באתרי הניטור נבחנים ההיבטים המעשיים של מחקרי LTER.

3.1 || מחקרי תהליכי מדבור

מטרת המחקר והניטור של תהליכי המדבור היא לכמת את קצב תהליכי המדבור, כדי להעריך מהו הקצב כיום וכדי לאמוד את נזקי העבר הנובעים מרעייה וכריתה בלתי מבוקרות. מחקרי תהליכי המדבור מתמקדים בכוחות המחוללים – אנטרופוגניים וטבעיים (רעייה, כריתה ובצורת) – ובהשפעתם הן על כתמיות הנוף (היחס בין כתמים מעוצים לכתמים קרומיים) והן על דליפת משאבים ותפקוד המערכת האקולוגית.

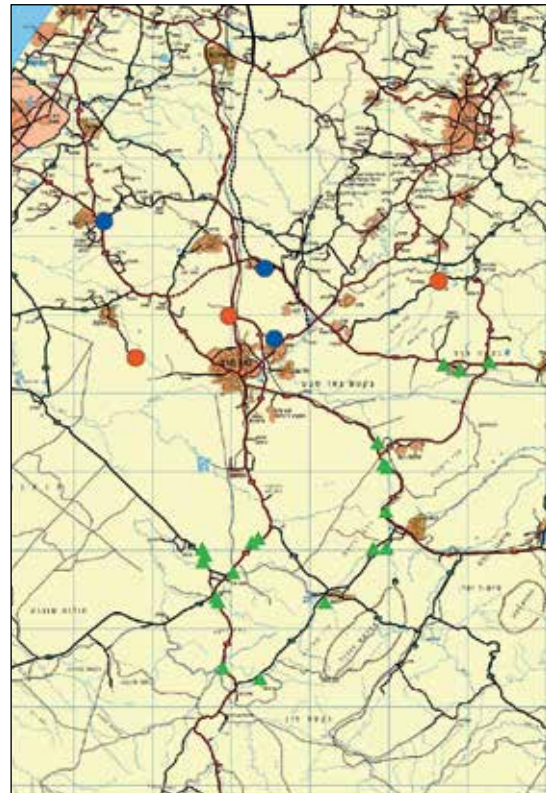
להלן הסוגיות שנבחנו במחקרי המדבור (Zaady et al. 1996a, 1996b, Shachak et al., 1998, Shachak et al. 1998, Zaady 1998, Zaady et al. 2003):

1. השפעת הרעייה והבצורות על המבנה הנופי;
2. השפעת המבנה הנופי על הנגר העילי וסחף הקרקע;
3. השפעת המבנה הנופי והמשאבים על תפקוד המערכת האקולוגית.

3.1.1 ||| השפעת הרעייה והבצורות על המבנה הנופי

כדי לבחון את השפעת הרעייה על המבנה הנופי נערך ניסוי מבוקר שהתמקד בהשפעת הרעייה

- הנחות היסוד של פעולות השיקום התפקודי:
1. שטחי צפון הנגב נתונים בתהליכי מדבור. משאבי קרקע ומים אובדים, ורמת היצרנות הביולוגית נמוכה.
 2. פעולות השיקום מקטינות את אבדן המשאבים ומגבירות את יצרנות המערכת.



תחנות LTER ואתרי ניטור ארוך-טווח
● סיירת שקד, השגיריים, יתיר
● להבים, הנדי
▲ לימים

איור 3

תפרוסת תחנות LTER ואתרי ניטור של קק"ל בצפון הנגב. המחקר והניטור ארוך-טווח מתמקדים בהבנת התהליכים הגורמים למדבור ובהשפעת פעולות השיקום על הקרקע, משק המים, הייצור הראשוני והמגוון הביולוגי

על צפיפות השיחים. הקטנת צפיפות השיחים היא הגורם המרכזי למדבור (Oren 2000). היא מביאה לידי התפשטות הקרומים הגורמים לבריחת המים בנגר עילי ולהגברת הסחף. גורמים אלו הם האחראים לירידת הפוריות של המערכת האקולוגית (Ludwig et al. 2005).

צעדי ועמיתיו (Zaady et al. 2001) מצאו שרעייה עונתית של עדר צאן בעונה הירוקה, במשך שלוש שנים בלבד, גרמה להקטנה מובהקת במספר השיחים, בהשוואה לשינוי במספר השיחים בשטח הביקורת (שטח ללא רעייה). המחקר מצביע בבירור על התרחשות מהירה של תהליכי מדבור בהשפעת רעייה. אם מביאים בחשבון שתהליכים אלו נמשכים כבר מאות בשנים, אפשר להסיק ששטחים נרחבים בנגב נתונים בתהליכי מדבור.

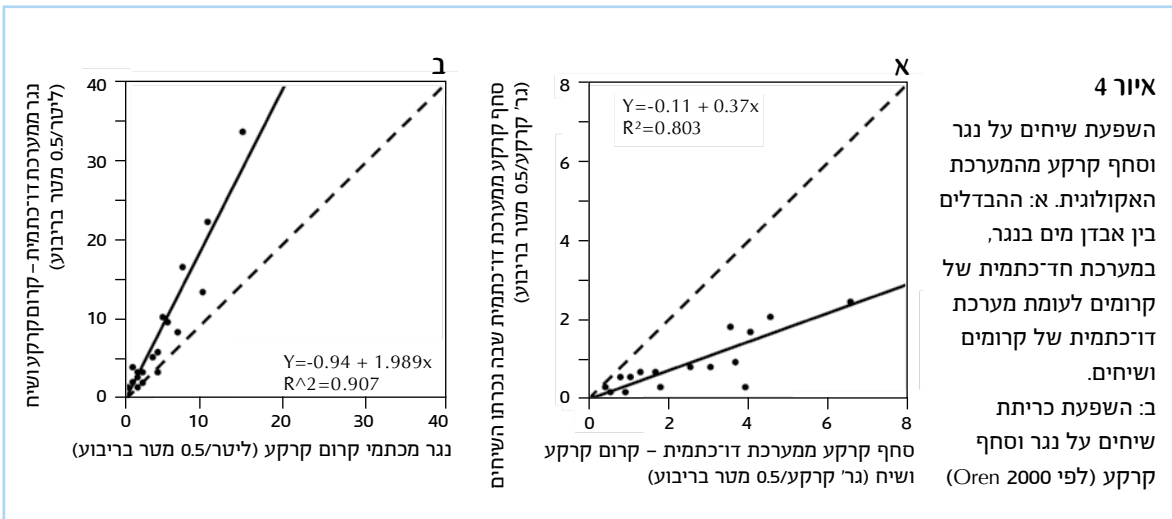
לבדיקת השפעת הרעייה על התפשטות הקרומים בשטחים נרחבים בוצע ניתוח הדמאות לווין מהשנים 2003 ו-2010. הדמאות לווין אלו הציגו את התפשטות הקרומים בשטח שהייתה בו רעייה רב-שנתית באגן נחל פטיש. הדמאות הלווין מוכיחות שברוב השטח יש התפשטות קרומים, והמקומות היחידים ששמרו על ייצור ראשוני גבוה הם באזורים שבהם איגמה קק"ל את הנגר ובנחלים הגדולים (Paz-Kagan et al. 2014a). המחקרים וניתוחי הדמאות הלווין מוכיחים כי מבנה הנוף משתנה בהווה: מערכת שיחנית הופכת למערכת קרומית בעקבות השפעות אנטרופוגניות

3.1.2 ||| השפעת המבנה הנופי על הנגר העילי וסחף הקרקע

לכירור הקשר בין המבנה הנופי לבין הנגר וסחף הקרקע נערכו ניסויי מניפולציה: נכרתו שיחים ונבדקה השפעת הכריתה על הנגר והסחף. כמו כן נבחן הקשר שבין שיטפונות וסחף קרקע (Oren 2000).

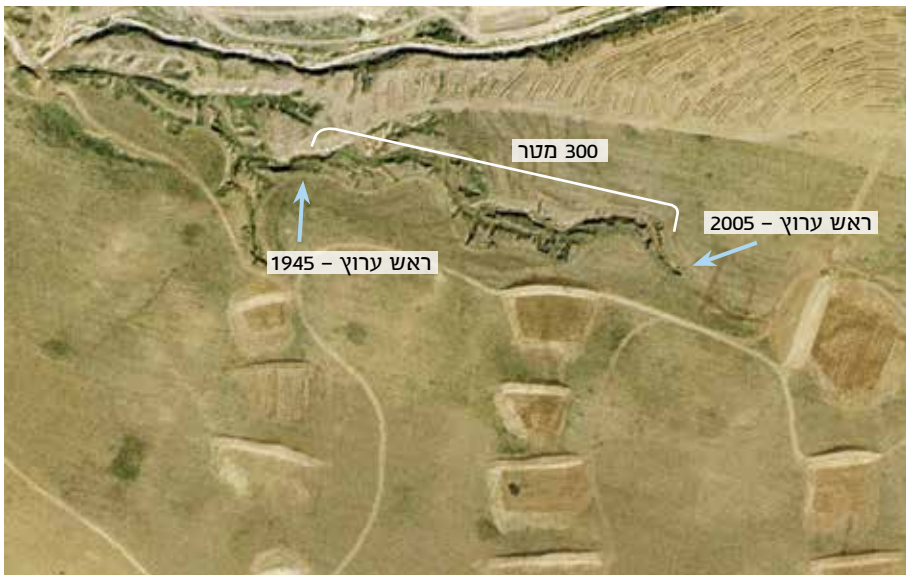
מטרת ניסויי הכריתה הייתה לבחון את ההשערה שירידה בצפיפות השיחים מאיצה תהליכי מדבור בכלל ואובדן משאבי מים וקרקע (איור 4).

הניסוי הראה שבכל אירועי הגשם, כמות הנגר משטחים קרומיים ללא שיחים הייתה גבוהה פי שניים מכמות הנגר משטחים עם שיחים. כמו כן הוכח בניסוי כי כיסוי שטחים קרומיים בשיחים בשיעור של רבע מפני השטח גורם להקטנת הנגר ב-50%. הקשר בין צפיפות השיחים והנגר נבדק, ונמצא יחס הפוך בין הצפיפות לאבדן הנגר (איור 4). ממצאים נוספים מאשרים את ההנחה המרכזית שלשיחים יש תפקיד מרכזי בשימור משאבים. פעילות המקטינה את תפקוד השיחים, למשל





א



ב

תמונה 23

תצלומי אוויר: תהליכי סחף קרקע ביוכל משנה של נחל כרכור - פגיעה רבי-שנתית במערכת האפיקית: נסיגה מתמשכת של ראש הערוץ למרחק של כ-300 מטר במשך כ-60 שנה משפיעה על כלל חלקי אגן ההיקוות

מניתוח תצלומי אוויר ומדידות שטח אפשר ללמוד על קצב נסיגת ראשי הערוצים. תצלום אוויר משנת 2005 מראה כי ראש הערוץ באגן צדדי של נחל כרכור (ששטחו כ-0.6 קמ"ר) נסוג בכ-300 מטרים בהשוואה למקומו כפי שמראה תצלום אוויר משנת 1945 (תמונה 23 א ו-ב). בשנים 2000 עד 2005 בוצע מעקב שנתי אחר קצב נסיגת ראש הערוץ (תמונה 24 א ו-ב ולוח 1). המעקב הראה כי הנסיגה השנתית הייתה בין 3 ל-25 מטר לשנה (מדידות קק"ל, דו"ח פנימי, יצחק משה, 2006).

מבלעים למים, מדרדרת את המערכת האקולוגית (Oren 2000, Eldridge et al. 2002).

השפעות השינויים בצפיפות השיחים והתפשטות הקרומים על תהליכי סחף קרקע ברמת אגן ההיקוות נבחנו בחקר תהליכי נסיגת הערוצים. הנחת המחקר הייתה שאבדן הנגר המוגבר מהמדרונות כתוצאה מתהליכי המדבור תתבטא בשיטפונות בעצמה גבוהה באפיקים. שיטפונות אלו יגרמו לסחף קרקע, וזה יביא לידי נסיגת ראשי הערוצים.

א



ב



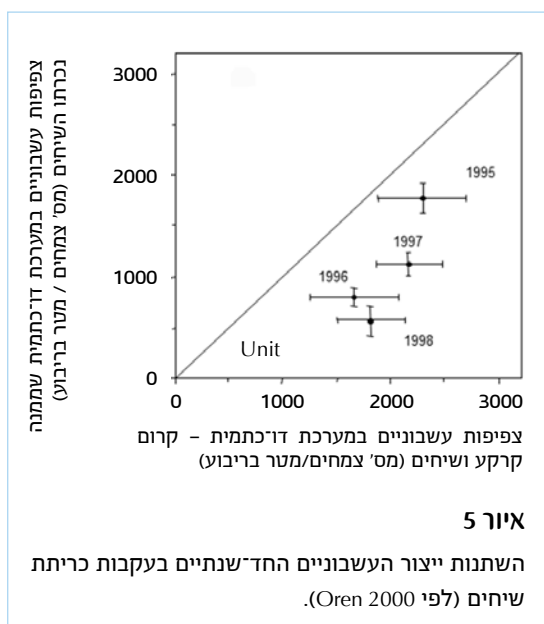
תמונה 24

נסיגת ראש הערוץ בנחל
כרכור משנת 2000 עד 2005

לוח 1

קצב שנתי של נסיגת ראש
הערוץ, לפי מדידות שטח של
קק"ל בשנים 2000-2005

קצב נסיגת ראשי ערוצים (מ' / שנה)	שנה	מס'
2.9	2000-1999	1
8.6	2001-2000	2
25.2	2002-2001	3
3.4	2003-2002	4
3.5	2004-2003	5
11.4	2005-2004	6
55.0 מ'		סה"כ



מעיד על תהליכי מדבור הנגרמים מתמותת שיחים בעקבות אירועי בצורת ומפגיעה בשיחים בהשפעת רעייה. הקטנת שטח השיחים והתפשטות הקרומים מגבירות את עוצמות הנגר במדרונות ובעקבותיו את סחף הקרקע באפיקים. תהליכים אלו מובילים לדרדור המערכת האקולוגית, וזה מתבטא ביצרנות נמוכה, קצבי מחזור יסודות נמוכים ומגוון ביולוגי נמוך.

3.2 || מחקרי תהליכי השיקום

- מחקרי תהליכי השיקום התמקדו בשלושה תחומים:
1. מחקרי רקע - מחקרים הידרולוגיים, בעיקר על תהליכי גשם-נגר-סחף. מטרת המחקרים לאפשר ניהול מושכל של משאבי המים;
 2. מחקרי מעקב - מחקרים שמטרתם לעקוב אחר השפעת פעולות השיקום על המערכת ההידרו-גאואקולוגית. מחקרים אלו נועדו לבחון את תרומתן של פעולות הממשק לשיקום המערכת הממודברת;
 3. מחקרי השיקום התפקודי לנוכח שינויי אקלים - מחקרים שמטרתם לברר כיצד ישפיעו שינויי אקלים על המערכות האקולוגיות של צפון הנגב ואיך להתאים את פעולות השיקום לאירועים אקלימיים קיצוניים (בצורת ושיטפונות).

מחקר נסיגת ראשי הערוצים מאשר את הטענה שתהליכי המדבור במדרונות משפיעים על האגן כולו. השיטפונות בנחלים גורמים לאבדן משאבי קרקע: אפיק קרקעי עם כושר ייצור ביולוגי גבוה הופך לאפיק אבני, ללא כושר ייצור ביומסה (Avni et al. 2005, 2006).

3.1.3 || השפעתם של המבנה הנופי והמשאבים על תפקוד המערכת האקולוגית

שאלה מרכזית לגבי תהליכי מדבור היא כיצד משפיעים השינויים הנופיים ואבדן המשאבים על המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית. בין השאר נבחנה הסוגיה איך משפיעים השיחים על בלימת אבדן המשאבים בשני התהליכים המרכזיים המגדירים את תפקודה של המערכת האקולוגית: הייצור הראשוני ומחזור היסודות (Boeken & Shachak 2001, Zaady et al. 1996a, 1996b). במחקרים מן העבר נמצא כי ככל שיש במערכת אלמנטים המגבירים ייצור צמחי ומחזור יסודות, גדלים כושר הנשיאה שלה ויכולתה לתמוך במגוון אורגניזמים (Paz-Kagan et al. 2014b). כדי לבחון את ההשפעה של השיחים על הייצור הראשוני נערכה השוואה בין צפיפות העשבוניים - במערכת שהשיחים הורחקו ממנה (מערכת ממודברת) לעומת מערכת דרכתמית של קרומים ושיחים (איור 5).

הוכח שהרחקת השיחים גרמה לפגיעה ביכולת הייצור, וזו התבטאה בירידה של כ-50% בצפיפות הצומח העשבוני. לצפיפות הצומח השיחי יש אפוא השלכות על ייצור הביומסה ומגוון המינים העשבוני (Boeken & Shachak 1998). ירידה בצפיפות השיחים פירושה ירידה בייצור ובמגוון הצומח; וירידה בייצור ובמגוון הביולוגי מעידה על תהליכי מדבור (Shachak et al. 1998).

כדי לבחון את החשיבות הרבה של המערכת הדו-כתמית למחזור היסודות נערכו מחקרים, ואלו הוכיחו כי הכחדת שיחים מפחיתה ביותר את קצב מחזור היסודות (Zaady et al. 1996a, 1996b). לסיכום, מגוון המחקרים בנושא המדבור בנגב כיום

3.2.1 ||| מחקרי רקע

הבסיס לשיקום התפקודי של המערכות האקולוגיות בצפון הנגב הוא ניהול מושכל של תהליכי זרימת הנגר העילי. ניהול כזה עשוי לווסת את העוצמה והנפח של זרימת הנגר ולמנוע תהליכי סחיפה, ובכך יפחתו הפגיעה במשאב הקרקע ודרדור המערכת האקולוגית. קציר מי נגר משמש אמצעי מרכזי לריכוז משאבים בקרקע ולהעלאת היצרנות והמגוון הביולוגי במערכת האקולוגית. ניהול מושכל של זרימת הנגר מאפשר להפוך את הנגר העילי מגורם המעורב בדרדור המערכת האקולוגית למשאב חשוב בשיקום התפקודי. במטרה לנהל באופן מושכל את משאב הנגר נדרש ידע הידרולוגי. ידע זה נרכש באמצעות מערך ניטור ארוך-טווח הבוחן הן את מאפייני הגשם והנגר במדרונות ובאפיקים במהלך אירועים סופתיים והן ערכים שנתיים ורב-שנתיים. מערך הניטור מספק מידע על אודות השינויים בערכי הגשם והנגר במרחב ובזמן וכן על אודות השפעת שימושי הקרקע על תהליכי הנגר והסחף בנגב הצפוני.

הניטור ארוך-הטווח של יחסי גשם ונגר במדרונות החל בשנת 1992 בפארק סיירת שקד. הוא מתבסס על שטחי ניטור קבועים המספקים נתוני נגר בכל אירוע גשם. הפעילות מתבצעת בשיתוף פעולה בין קק"ל, התחנה לחקר הסחף והמכונים לחקר המדבר בשדה בוקר (ארבל 2009). הניתוח הרב-שנתי במשך תשע עשרה שנות ניטור מלמד כי שיעור הנגר השנתי הממוצע הנו כ-12% מכמות הגשם הממוצעת הרב-שנתית. ריכוז מי הנגר לאורך פסי אגירת מי הנגר במדרונות (תלמים/שיחים) מאפשר חדירת מים לקרקע בשיעור שווה ערך לפי שלושה מכמות הגשם השנתית הממוצעת. החדרת מי הנגר בכמויות גדולות לקרקע מאפשרת למים לחדור לעומק, ובכך קטן אבדן המים מהתאדות, ואספקת מים לצמחייה לפרקי זמן ממושכים מובטחת. פז-כגן ועמיתיה (Paz-Kagan et al. 2014a, 2014b) הראו שאגירת המים חיונית במיוחד בשנות בצורת, כאשר יש חשש להתייבשות רחבת ממדים, כפי שנצפתה בשנת 2008 (תמונות 25, 26).

תמונה 25

התמוטטות מערכת אקולוגית שיחנית בעקבות רצף שנות בצורת באזור ללא אגירת מי נגר. הכתמים הלבנים מראים את מקומו של שיח שמת. כתמים לבנים אלו הם שאריות של שבלולים שהתקיימו בסביבת השיח



תמונה 26

שיח מת עם ריכוז חלזונות מתים מתחתיו



נחל בכרה נחקרה תפוקת הנגר של שטחי יער בהשוואה לשטחי רעייה וכריתת שיחים. בשנים 2001 עד 2005 נרשמו באגן הנחל 45 אירועי גשם (בעובי גשם משתנה: 1-85 מ"מ). ערכי הנגר וספיקות השיא שנרשמו במהלך אירועי הזרימה באגן הרעייה היו גבוהים בהרבה מאלו שבאגן המיוער ביער מחטני בוגר וביער צעיר הנטוע בשיטת קציר נגר. נפח הנגר המרבי לאירוע גשם שיצא מהאגן ששימש לרעייה ולכריתת שיחים היה בשיעור מחצית נפח הגשם שירד על האגן באותו אירוע גשם. לעומת זאת, מהאגן המיוער לא נרשם כל נגר במהלך אותו אירוע גשם. במהלך שנים אלו נרשם במוצא האגן המיוער רק אירוע נגר אחד, בספיקת נגר נמוכה ביותר. ממצאים אלו מאשרים ממצאים דומים מאגן נחל בכרה משנת 1991 עד שנת 2014, ואפשר ללמוד מהם על ויסות שיטפונות בהשפעת היער בהשוואה להשפעת שטחי מרעה (גרתי וחוב' 1995, ארבל וגטקר 2014, Hoekstra et al. 2007).

ניתוח של יחסי גשם ונגר שנערך באגנים נוספים בנגב הצפוני, בשימושי קרקע שונים - רעייה, חקלאות ויעור - מחזק את הממצאים מאגן בכרה: בשטחים מיוערים, בהשוואה לשטחי רעייה וחקלאות, מספר אירועי הנגר קטן ביותר (גטקר וארבל 2006).

המחקר מלמד כי בשטחים מיוערים מספר אירועי

ניטור שנערך בשנות הבצורת 2007 עד 2010 בפארק סיירת שקד, שבהן כמות המשקעים השנתית הממוצעת הייתה כ־100 מ"מ לשנה (לעומת כ־200 מ"מ ממוצע רב־שנתי), הראה כי אגירת הנגר התרחשה גם בשנים שחונות אלו. אגירת הנגר אפשרה את הישרדות הצומח העצי, השיחי והעשבוני לאורך פסי האגירה במדרונות. לעומת זאת, מחוץ לשטח הנטוע (בשטח שלא נעשה בו איסוף מי נגר) התרחשה תמותת שיחים מסיבית (שחק 2011).

ממצאים אלו מעידים על חשיבותו של קציר הנגר: בשנות בצורת הוא משמש כלי לשימור תפקודי המערכת האקולוגית. חשיבות זו גוברת אם מביאים בחשבון את ממצאי מחקרי האקלים החוזים עלייה בתדירות ובעוצמה של הבצורת באזורנו (Allen et al. 2010, Paz-Kagan et al. 2014a, Wang et al. 2012a, Woodward et al. 2012).

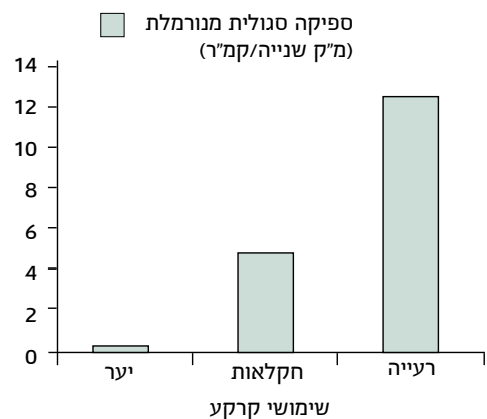
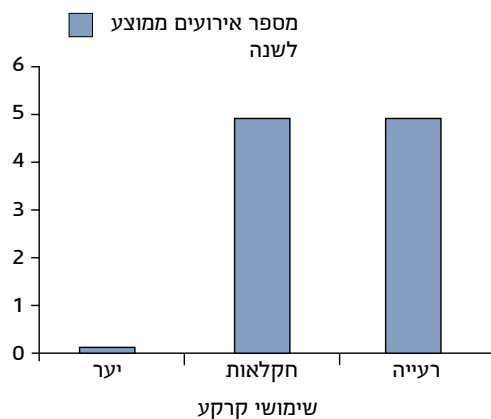
במסגרת מחקרי הרקע נבחן הקשר בין שימושי הקרקע בנגב לבין העוצמה והתדירות של השיטפונות. המחקר החל בשנות השמונים של המאה העשרים ועסק באירועי הנגר המתפתחים בשימושי הקרקע של יער, מרעה וחקלאות. הניטור כלל תחנות קבועות וניידות למדידת גשם ונגר.

הממצאים מאגן נחל בכרה באזור יתיר (Hoekstra et al. 2007) מדגימים את ההשפעה הניכרת של שימושי הקרקע על הנגר (תמונה 27 א ו-ב). באגן



תמונה 27

מדידת נגר וסחף בשימושי קרקע שונים באגן בכרה באזור יתיר: תמונה א - שטח מיוער, מאופיין בערכי נגר אפסיים; תמונה ב - נגר מאגן בשימוש מרעה, מאופיין בערכי נגר גבוהים



איור 6

השפעת שימושי הקרקע (רעייה, חקלאות, יער) על ספיקת השיא הסגולית (ספיקת שיא ליחידת שטח) ועל מספר אירועי זרימה ממוצע בשנה

מידה אגני במדרונות המשוקמים, בשיטת קציר נגר בשיחים.

3.2.2.1 מחקר מערכת הקשרים גשם-נגר, בלימנים

בשיתוף פעולה בין קק"ל והתחנה לחקר הסחף במשרד החקלאות הוקם בשנת 1986 מערך לניטור יחסי גשם-נגר בלימנים.

מטרות מחקר הלימנים היו:

1. לברר את השונות המרחבית והעתית של קציר נגר הנשען על זרימה באפיקים באגני היקוות בגדלים שונים הפרושים ברחבי הנגב;
2. לבחון עד כמה יכולים הלימנים לשמש מתקנים לניצול אופטימלי של מי נגר לנטיעות ולייצור צומח עשבוני.

במסגרת הניטור ארוך-הטווח נבחנו 20 לימנים, במרחב שמשדה בוקר בדרום ועד כביש ערד בצפון. ניתוח 16 שנות הניטור הראשונות מלמד על כמויות הנגר הסופתיות והשנתיות הנאגרות בלימנים, ההבדלים המרחביים בערכי הנגר בלימנים והקשר שבין הנגר לכמות הגשם השנתית הממוצעת (ארבל 2005). כמו כן נלמדים ספיקת השיא ונפחי זרימת הנגר ותלותם במאפייני הגשם ובאגן ההיקוות.

הזרימה הממוצעת לשנה ושיעורי ספיקות הזרימה הסגולית הממוצעת (ספיקה מרבית ל-1 קמ"ר אגן), נמוכים בהרבה מבשטחי חקלאות ומרעה (איור 6).

המסקנה המרכזית מחקר השפעת שימושי הקרקע על יחסי גשם ונגר היא ששטחים מיוערים משמשים מבלעים למי הגשם והנגר ותורמים רבות לוויסות שיטפונות. לעומתם, שטחי רעייה - בדרך כלל שטחים ממודברים - משמשים מקור למי נגר, מגבירים את עוצמת השיטפונות ומדרדרים את המערכת.

3.2.2 ||| מחקרי מעקב

מחקרי המעקב נועדו לברר את מידת ההצלחה של פעולות השיקום התפקודי בתחומים אחדים:

1. הקטנת ערכי הנגר והסחף והגדלת לחות הקרקע;
2. איכות הקרקע;
3. יצרנות ומגוון ביולוגי תפקודי;
4. מניעת שיטפונות.

השפעות פעולות השיקום על מערכת הקשרים גשם-נגר-לחות קרקע נבחנו באפיקים, בקנה מידה אזורי, במחקר הלימנים. כמו כן נבחנו בקנה

המים בין השיחים הוא 40 ס"מ בלבד. נוסף על כך נמצא כי לאחר עונה יבשה הלחות בשיח גבוהה מהלחות באזור המכוסה קרומי קרקע. ממצא זה מלמד כי מערכת השיחים משמרת מים גם לאחר עונת הגשמים ועשויה לספק מים לצומח גם בשנות בצורת אם תקופת היובש מתארכת ועונת הגשמים מתקצרת.

מחקרי לחות הקרקע מאששים את הטענה המרכזית: קציר הנגר משנה את הדינמיקה של לחות הקרקע ומאפשר אגירת מים בקרקע, ובכך הוא מסייע לעמידות מערכות אקולוגיות בתנאים של שינויים קיצוניים בכמויות הגשם השנתיות.

3.2.2.3 השפעת פעולות השיקום על איכות הקרקע

במסגרת מחקרי המעקב התבצעה עבודה מקיפה לזיהוי ההשפעות של פעולות השיקום התפקודי על איכות הקרקע. איכות הקרקע היא עניין מרכזי מכיוון שקרקע היא הבסיס לתפקוד המערכות היבשתיות הטבעיות והמערכות שהאדם מנהל. איכות הקרקע משקפת את כושר הנשיאה של המערכת האקולוגית ואת יכולתה לתמוך במגוון הצומח והחי. מה שקובע את איכות הקרקע הוא שקלול של מספר תכונות פיזיות, כימיות וביולוגיות (Paz-Kagan et al. 2014c).

שאלת המחקר המרכזית התמקדה בשאלה מהי ההשפעה של יצירת מבלעים למי נגר על איכות הקרקע, לאורך זמן (20 שנה לפחות). האיכות נבחנה בעזרת 14 מדדים המייצגים את הפיזיקה, הכימיה והביולוגיה של הקרקע, והממצאים שוקללו למדד איכות הקרקע. נמצא כי אגירת נגר בגומות או בשיחים, במשך כעשרים שנה, מביאה לידי עלייה של ממש באיכות הקרקע. העלייה באיכות הקרקע מיוחסת לשינויים ביחידת הנוף אוגרת הנגר. ביחידה זו, העלייה ברמת לחות הקרקע בשילוב הצטברות חומר אורגני מעלה את המגוון הביולוגי של יצורי הקרקע. השילוב של אגירת נגר, חומר אורגני ופעילות ביולוגית הוא משוב חיובי להגדלת איכות הקרקע.

מחקרי איכות הקרקע מראים ששימושי הקרקע

מניתוח הנתונים מתברר כי יש הבדל מרחבי מובהק באספקת המים ללימנים השונים. במקצת הלימנים מתרחשים כמה אירועי נגר בכל שנה וכמות מי הנגר והגשם הנאגרת עשויה להגיע לכ-2,000 מ"מ בשנה (הממוצע השנתי הנו כ-1,000 מ"מ). נמצא כי בלימנים באתרים שבהם כמות הגשם השנתית הממוצעת היא בסביבות 100 מ"מ ייתכן רצף של ארבע שנים ללא נגר. גם בתנאים אלו שרדו סוגי עצים אחדים (שיטה, אשל, אלה).

ממצאי הניטור ארוך-הטווח של השינויים המתרחשים לאורך זמן במשטר הגשם והנגר וההבדלים המרחביים והעתיים באספקת הנגר ללימנים מאפשרים ניהול מושכל וסתגלני של הלימנים בתור מבלעים לנגר ובתור מערכת אקולוגית של עצים ועשבוניים.

לממצאי הניטור היבטים חשובים בכל הקשור במבנה ובתפקוד של הלימנים:

1. הבטחת עמידות הלימנים בעת אירועי שיטפון קיצוניים באמצעות תכנון וביצוע מתאימים של המבנה הפיזי של הלימן;
2. קביעת שטח הלימן בהתאם לגודל האגן ומשטר הגשם;
3. בחירת סוגי העצים להבטחת עמידותם, בהתאם למשטרי הגשם והנגר.

3.2.2.2 מחקר נגר – לחות קרקע בשיחים

השיקום התפקודי באמצעות קציר נגר בשיחים מתבסס על ההנחה שאיגום הנגר משנה את הדינמיקה של לחות הקרקע בהשוואה לשטחים שאין בהם קציר נגר (ר' לעיל 3.2.1 "מחקרי רקע"). ההנחה היא שעומק הרטיבות גבוה יותר בשטח המשוקם ומשך אספקת המים לצומח ארוך יותר. לבחינת ההנחה נערך מחקר מקיף על הדינמיקה של לחות הקרקע בשיחים (ארזי וברלינר 2012, צמח Shachak et al. 1998, Wang et al., 1990, 2012b, 2013).

נמצא כי כבר לאחר הגשם הראשון השיח קולט כמויות מים גדולות עד לעומק של 3 מטרים; לחות הקרקע הממוצעת היא מעל 30%. לעומת זאת, בשטחים המכוסים קרומי קרקע, עומק חדירת

בנגב, כגון חקלאות ורעייה, מורידים את איכות הקרקע, ואילו איגום מי נגר מעלה את איכותה (Paz-Kagan et al. 2014c).

3.2.2.4 השפעת פעולות השיקום על הייצור הראשוני והמגוון התפקודי

הייצור הראשוני הוא הבסיס לתפקודה של המערכת האקולוגית. הוא קובע את מאגר האנרגייה שעומד לרשות הצמחים ובעלי החיים במערכת. רמת הייצור הראשוני היא מדד חשוב לקביעת רמת הפעילות של כל מערכת אקולוגית (Erb et al. 2009). פעולות השיקום התפקודי מיועדות להגביר את רמת הפעילות של המערכת. הגדלת הייצור הראשוני משמשת מדד להצלחת השיקום. מחקרים רבים הראו קשר חיובי בין הגדלת הייצור הראשוני לבין הגדלת המגוון הביולוגי של עשבוניים. בדרך כלל, הגדלת הייצור והמגוון של העשבוניים מביאה לידי עלייה במגוון אוכלי העשב והמפרקים (Cowie et al. 2011, Helman et al. 2014, Soliveres et al. 2014, Wang et al. 2012b).

מחקר שבחן את הייצור הראשוני בשנת בצורת (2010) ובשנה גשומה (2011) במערכת ניסויית ובמערכת שיקומית של קציר נגר ב־LTER שקד, כעשרים שנה לאחר הקמת המערכות, הראה בבירור את העלייה בייצור הראשוני ביחידת הנוף אוגרת הנגר בהשוואה ליחידת הנוף של קרומי קרקע שמי הנגר אובדים ממנה (Paz-Kagan et al. 2014a).

מחקר זה מחזק את ההנחה ששיקום הבנוי על קציר נגר ואגירתו בקרקע מעלה את רמת תפקוד המערכת בזכות ניצול יעיל יותר של אנרגיית שמש והפיכתה לביומסת צומח. יש להניח שרמת היצרנות הגבוהה יחסית ביחידת הנוף אוגרת הנגר מקורה בשילוב של מים זמינים לצומח ושל איכות קרקע גבוהה.

ביחידות הנוף שבהן נעשה השיקום התפקודי מתקיימות שתי קבוצות צומח שלכל אחת מהן תפקיד שונה: הקבוצה הראשונה היא "דגניים" והקבוצה השנייה היא "רחבי עלים". השונות

בתפקוד קשורה הן בייצור שונה של הביומסה והן בזמינות הביומסה לבעלי חיים אוכלי עשב. שתי הקבוצות מייצגות "מגוון תפקודי"; שתיהן שייכות לקבוצת העשבוניים אך מתפקדות באופן שונה. כלומר, הקבוצות שונות זו מזו באופן קבוע אנרגיית השמש ובהשפעתן על תהליכים במארג המזון (Cadotte et al. 2011, Mason & de Bello et al. 2014, Zhang et al. 2013).

מחקרים רבים מראים שרמת תפקודי המערכת עולה ככל שהמגוון התפקודי גדל (Zhang et al. 2014). במסגרת מחקרי המעקב נבחנו ההבדלים במגוון התפקודי של דגניים ורחבי עלים ביחידות הנוף הקרומיות וביחידות הנוף אוגרות הנגר (Boeken & Shachak 1998). לעומת זאת, כאשר משתלטת קבוצת הדגניים חלה ירידה משמעותית בייצור הראשוני, במגוון הצמחים ובהשפעתם על מארג המזון (Shachak et al. 2008, Shachak et al. 2010). נמצא שיחידת נוף מועשרת במי נגר מגדילה את הצפיפות של רחבי העלים. להגדלת הצפיפות של רחבי עלים השלכות על הגברת הייצור הראשוני במערכת, על הגדלת מגוון המינים של הצמחים עצמם ועל בעלי החיים הניזונים מהם. עם העלייה במגוון התפקודי ובייצור הראשוני עולה גם מגוון מיני העשבוניים.

3.2.2.5 השפעת פעולות הממשק על מניעת שיטפונות

המסגרת המרחבית לשיקום התפקודי היא אגן ההיקוות. הנחת היסוד לפעילות הממשקית לוויסות שיטפונות היא שיצירת מבלעים לנגר ברחבי האגן תקטין את עוצמת השיטפון במורד האגן. הקטנה כזו חשובה באירועי גשם קיצוניים המתבטאים בכמויות גדולות ובעוצמות גבוהות של גשם ונגר.

היכולת של מערכות קצירי הנגר בשטחי היער לקלוט מי נגר ולווסת את עוצמת השיטפון הוכחה במספר אירועים באתרים שונים במהלך שנות הניטור ארוך־הטווח (נטקור וארבל 2006, Tal 2013, Hoekstra et al. 2007). להלן שתי דוגמאות לקשר בין ממשק נגר לוויסות שיטפונות:

היער יחידות הנוף אוגרות הנגר, ובכך נמנעו מזיקים משמעותיים ליישוב מיתר.

3.2.3 ||| מחקרי שיקום תפקודי לנוכח שינויי אקלים צפויים

מחקרי שיקום תפקודי לנוכח שינויי אקלים צפויים מתמקדים בשני תחומים עיקריים:

1. לימוד ההשלכות של רצף אירועי בצורת על רכיבי המערכת האקולוגית ותפקודה;

2. לימוד תגובת יחידות הנוף קולטות הנגר לאירועי קיצון בהווה ובהתאם לכך התאמת ממשק היחידות לאירועי אקלים קיצוניים.

בשנים האחרונות התעצמו אירועי הבצורת בנגב (גרנות וחוב' 2012, שחק 2011), אך עדיין לא ברור אם הם מבשרים על שינויי אקלים. המודלים העוסקים בשינויי אקלים באגן הים התיכון מצביעים על התגברותם הן של תופעת הבצורת והן של אירועי הגשם – בעוצמה ובתדירות (Dai

1. יכולת ויסות השיטפונות הוכחה גם ביחידות נוף אוגרות נגר צעירות, בזכות קליטת מי הנגר (תמונה 28): באירוע גשם שהתרחש ב־2004 באגן נחל בתרים ירדו 36 מ"מ גשם. איגום חלק ממי הנגר בלימנים ויסת את ספיקת השיא הצפויה מערך מחושב של כ־29 מ"ק לשנייה, לערך מדוד של 4 מ"ק לשנייה. ויסות עוצמת השיטפון מנע נזקי הצפה שכבר אירעו בעבר באזור התעשייה של היישוב עומר (ארבל 2004).

2. קליטת מי נגר בשטח יער ומניעת נזקים ניכרים באירועי סופה קיצוניים: גודלו של אגן ההיקוות במעלה היישוב מיתר הוא כקמ"ר אחד, והוא מאופיין ביער עם יחידות נוף אוגרות נגר ותיקות. באירוע גשם קיצון שהתרחש ב־2002 ירדו כ־90 מ"מ גשם בעוצמה גבוהה (גטקר וארבל 2006). עובי הגשם הסופתי ועוצמתו היו נדירים (ההסתברות להתרחשותם היא אחוז אחד). את עיקר הנגר בסופה זו קלטו בשטח



תמונה 28

איגום חלקי של מי הנגר בלימנים במעלה אגן נחל בתרים מאפשר ויסות עוצמת השיטפונות והגנה על אזור התעשייה של עומר

2011). אופי המשקעים בשנים האחרונות מחזק את התחזיות להתגברות אירועי קיצון אקלימיים.

תוצאותיהם של מחקרי הרקע ושל מחקר חדשני העוסק בחישה מרחוק בנגב (Paz-Kagan et al. 2014a) מראים שאירועי קיצון אלו הביאו לידי התפשטות הקרומים, ובהמשך – לידי שינויים ביחסי מקור-מבלע למים וקרקע בכל צפון הנגב וגרמו לירידה של ממש בייצור הביולוגי.

המחקרים ארוכי-הטווח בוחנים אם גישת השיקום התפקודי עשויה לסייע בהסתגלות לאירועי קיצון בנגב.

3.2.3.1 השלכות רצף אירועי בצורת על רכיבי המערכת האקולוגית ותפקודה

ממצאי המחקרים בעקבות שנות הבצורת האחרונות מצביעים על ההשפעות השליליות של משטר הגשם על אוכלוסיות אורגניזמים, החברה הביוטית ותפקודי הנוף.

גרנות וחוב' (2012) מדווחים שבעקבות סדרת שנות הבצורת 1992-2003 קרסה אוכלוסיית האיזופוד המדברי, אוכלוסייה המהווה מין מפתח. קריסת אוכלוסיית האיזופודים גורמת לשינויים במשטר הסחף ולהגברת תהליכי המלחת הקרקע. שני התהליכים הללו מאיצים את קצבי המדבור. שנות הבצורת, 1998-1999 השפיעו לרעה על אוכלוסיית הסירה הקוצנית באתר LTER להבים (DeMalach et al. 2014). ההשפעה התבטאה בירידה באחוז הכיסוי ובהתייבבות ברמת כיסוי נמוכה יותר. בעקבות ירידה באוכלוסיית הסירה הקוצנית ועלייה בכיסוי הקרומים, קיימת סכנה לעלייה בעוצמה ובתדירות של השיטפונות.

תופעות דומות נצפו ב־LTER בפארק סירת שקד. התופעות התבטאו בירידה במגוון העשבונים (Boeken & Shachak 1998) ובתמותה מסיבית של מעוצים ברחבי אגן ההיקוות (תמונות 25, 26); (שחק 2011).

כל המחקרים והתצפיות מעידים שאם יתמשו התחזיות של עלייה בתדירות הבצורת ובעוצמתה, רמת הייצור הראשוני והשניוני תרד ותתייצב על

פעילות נמוכה יותר. משמעות התופעה – החרפת המדבור בעקבות רצף שנות בצורת.

לבדיקת ממדי המדבור בגלל עלייה בתדירות הבצורת נעשה ניתוח מהדמאות לווין לגבי שינויים במדדי הצומח באגן נחל פטיש, לפני ואחרי תקופות הבצורת בשנים 2003, 2010 (Paz-Kagan et al. 2014a).

הניתוח מצביע על מגמות אחדות:

1. התפשטות הקרומים בכל רחבי האגן;
2. ירידה בייצור הראשוני בכל רחבי האגן;
3. עלייה בייצור הראשוני ביחידות נוף שמתבצע בהן שיקום תפקודי במדרונות ובאפיקים;
4. עלייה בייצור הראשוני באפיקים מסדר גבוה (אפיקים ראשיים).

ממצאים אלו מעידים על התעצמות תהליכי המדבור בנגב בעקבות שנות הבצורת ומרמזים שהשיקום התפקודי המבוסס על קציר נגר עשוי למלא תפקיד חשוב במניעת ההידרדרות של הייצור הראשוני והשניוני בנגב.

3.2.3.2 תגובות יחידות הנוף קולטות הנגר לאירועי קיצון בהווה והתאמת ממשק השיקום התפקודי לאירועי אקלים קיצוניים

עד העשור האחרון התבסס השיקום התפקודי על ההנחה שהמדבור בנגב הוא בעיקרו אנטרופוגני. בעשור האחרון נראה שאנו עדים לתקופה של תהליכי מדבור מואצים בעקבות שילוב בין פעילות אנטרופוגנית ובין שינויי אירועי קיצון אקלימיים. המחקר המלווה מתעדכן ומתאים את עצמו להתמודדות עם שינויים אלו.

כדי לענות על השאלה אם השיקום התפקודי עשוי להיות סתגלני ולעמוד באירועי קיצון אקלימיים, מתבצעים הן מחקר עיוני על-פי תורת תבניות הצומח (Gilad et al. 2007) והן מחקר שדה לבחינת עמידות מערכות קציר הנגר בשנות בצורת (Kagan et al. 2014b).

אינטראקציות בין גשם-נגר-לחות קרקע ומעוצים (Rietkerk et al. 2002) יוצרות תבניות

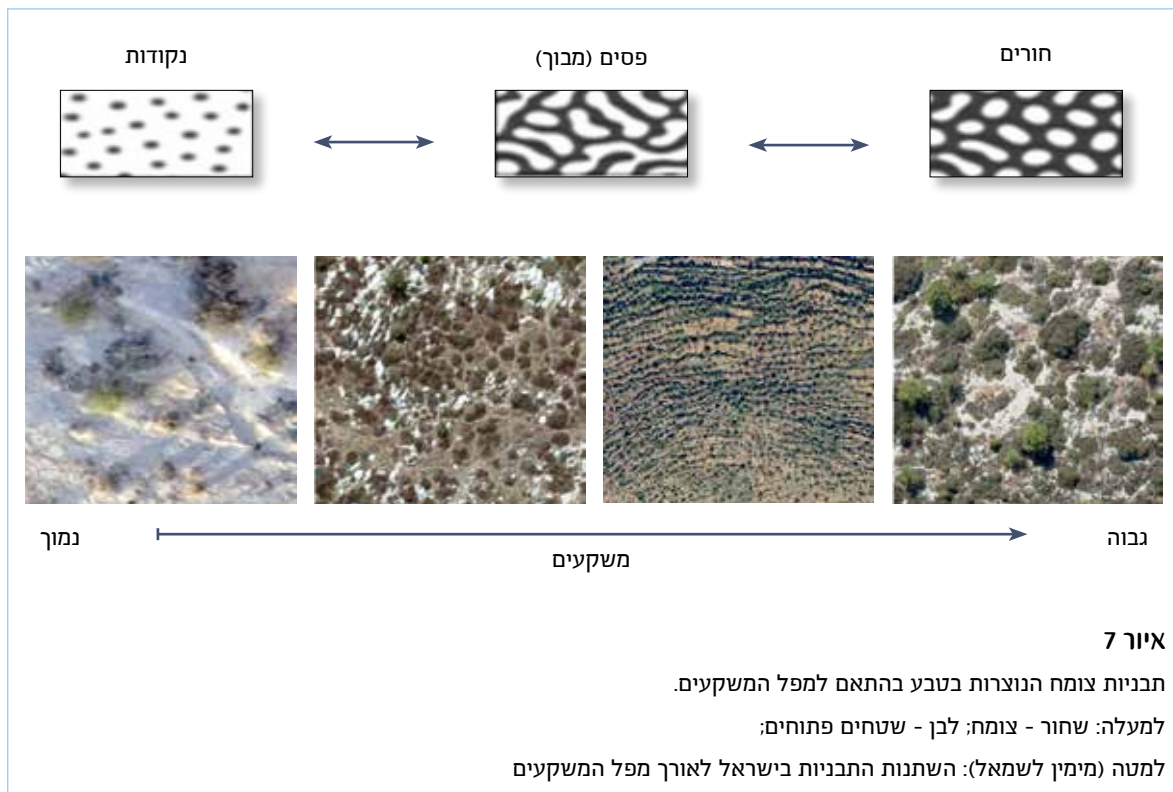
et al. 2007). לשם בחינת קיימות יחידות הנוף התפקודי במהלך אירועי קיצון אקלימיים נבדקה התפתחות העצים במערכת שיחים ביער דודאים מצפון לבאר שבע, לאחר שנות הבצורת. מסקנות המחקר מלמדות שמערכת הנטיעות בשיחים עמידה ברובה בתנאי אקלים קיצון. לראיה, מתוך כ־20,000 עצים שניטעו, התייבשו כ־1,200 - כ־6% התמותה מרוכזת בעיקר בפנות הדרומית ובפנות הדרום מזרחית.

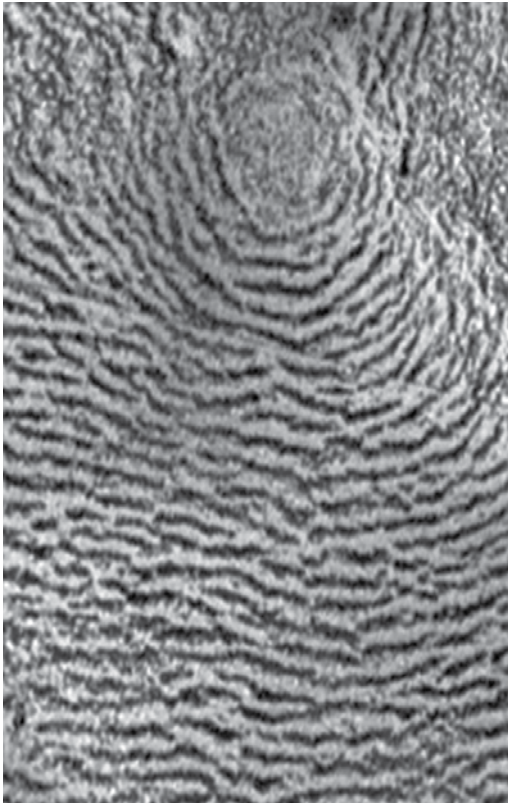
במהלך שנות הבצורת לא נצפתה בסיירת שקד תמותת עצים ושיחים באתרי איסוף מי הנגר לעומת תמותה רחבת היקף של שיחים במדרונות ובאפיקים באתרים שאין בהם אמצעים לאיסוף מי נגר. תימוכין לתופעה זו אפשר למצוא בניתוח הדמאות הלווין שבחנו את השתנות הצומח במרחב אגן נחל פטיש. ניתוחי ההדמאות מוכיחים שלאחר שנות הבצורת, שטחי קציר הנגר הראו עמידות לתנאי יובש. לעומת זאת, מחוץ לשטח הנתוע (בשטח שלא נעשה בו איסוף מי נגר) הייתה תמותת שיחים מסיבית (Paz-Kagan et al. 2014a).

המעוצים המשמשות מבלעים למים, קרקע ונוטריאנטים ממקסמות את ניצול המים ליצירת ביומסה ומותאמות לכמות הגשם ולפיזורו במרחב באמצעות נגר (Gilad et al. 2007). התבניות האופייניות של המעוצים הנוצרות לאורך מפל גשם עולה הן תבניות נקודות, פסים (מבוך) וחורים (איור 7).

כל תבנית היא בת קיימא בתנאי גשם ואקלים נתונים ומשתנה עם השינויים האקלימיים. תצפיות באפריקה ובאוסטרליה מעידות שבתנאים הדומים לתנאי צפון הנגב, ללא הפרעות אדם, תבנית הפסים היא המותאמת ביותר למערכת המתפקדת ברמת ייצור ראשוני גבוהה. תבנית הפסים הנוצרת בעקבות בניית השיחים בצפון הנגב היא כנראה התבנית המתאימה ביותר לצורך שיקום תפקודי (תמונה 29).

לצורך ניהול מושכל של תבניות השיחים בתנאי אקלים משתנים, הממשק התפקודי מסתמך על מודל מתמטי המייצר תבניות צומח בתנאי גשם שונים. מודל זה מאפשר לקשר בין שינויים אקלימיים לשינויים בתבניות הפסים (Gilad





א

תמונה 29

א - תבניות פסים של צומח טבעי באפריקה, באזור של 200-300 מ"מ גשם

ב - תבניות פסים שנוצרו בעקבות שיקום תפקודי בנגב

ב





שירותים אקולוגיים בעקבות פעולות קק"ל לשיקום התפקודי בצפון הנגב

4

עצמאית גם ללא התערבות מסיבית של האדם (Hobbs et al., 2013).

מקצת מתפקידי קק"ל בצפון הנגב הם לשבץ בנוף התרבותי מערכות אקולוגיות מתפקדות המוסיפות שירותי מערכת מרכזיים שיתר יחידות הנוף התרבותי - מערכת המרעה, המערכת העירונית והמערכת החקלאית - אינן יכולות לספק. לתפקיד של הגדלת שירותי המערכת בכל נוף תרבותי יש חשיבות גבוהה, אולם בנגב הוא חשוב במיוחד בגלל ההפחתה בשירותי המערכת עקב תהליכי המדבור. קק"ל, באמצעות הגישה של שיקום תפקודי, מצטרפת למאמץ העולמי לשילוב שירותי מערכת על-ידי ניהול מערכות אקולוגיות בנוף תרבותי רב-תפקודי (Bullock et al. 2011).

לשירותי המערכת האקולוגית סיווגים שונים. לצורכי השיקום התפקודי מתאימה במיוחד שיטת המיון של The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB 2010), שמסווגת את שירותי המערכת לארבע קבוצות עיקריות:

- שירותי ויסות - אופני תועלת לאדם שמקורם בבקרת תהליכים טבעיים באמצעות מערכות אקולוגיות - שירותי ויסות כוללים בקרה של איכות אוויר, אקלים, שטפי מים, סחף קרקע, טיהור מים, איכות הקרקע, מחלות ומזיקים, תהליכי האבקה;
- שירותי תרבות - אופני תועלת לאדם שאינם חומריים ומקורם בתבניות הנופיות שנוצרות בפעילות המערכות האקולוגיות - בשירותי התרבות נכללים מגוון תרבותי שהסביבה מעצבת (cultural diversity), ערכים רוחניים ודתיים תלויי סביבה, מערכות מידע הנדלות מהסביבה, ערכים חינוכיים הנרכשים ממערכות אקולוגיות, השראה שמקורה בסביבה המעודדת

4.1 || שירותי מערכת בנוף תרבותי רב-תפקודי

המונח "נוף תרבותי" שהוזכר בפרקים הקודמים חל על הנוף שבו מעשה ידי אדם הוא חלק אינטגרלי מהמערכת האקולוגית. השיקום התפקודי של קק"ל חותר להשתלב במערכות האקולוגיות של צפון הנגב כדי להביא לאדם תועלת נוספת, כזו שאיננה חלק מהנוף הרב-תפקודי העכשווי. הואיל והנוף התרבותי הרב-תפקודי נועד לשרת את צורכי האדם, הוא משתלב היטב בשירותי המערכת האקולוגית (eco-system services), מושג שהתפתח בעשורים האחרונים (De Groot et al. 1998, Costanza et al. 2010).

קק"ל אימצה את המונח "שירותי המערכת האקולוגית" כפי שהגדירו בורקהרד (Burkhard 2012): "שירותי המערכת האקולוגית הם תרומת המבנה והתפקוד של האקוסיסטמה בשילוב פעילות האדם למען רווחתו".

שירותי המערכת מקורם במבנה ובתפקוד תקין של המערכות האקולוגיות. השיקום התפקודי בונה מערכות אקולוגיות חדשניות (novel ecosystem) שיוכלו לתת מגוון שירותי אספקה, ויסות, תרבות ובתי גידול.

ההגדרה של מערכת חדשנית היא: מערכת המקיימת אינטראקציות בין רכיבים אביוטיים, ביוטיים וחברתיים שעוצבו כתוצאה מפעילות אדם. המערכת האקולוגית החדשנית שונה ממערכות אקולוגיות טבעיות שהיו בעבר באותה סביבה. מערכת אקולוגית חדשנית מתארגנת מעצמה ויש לה תכונות מבניות ותפקודיות מותאמות למצע הפיזי שיצר האדם בפעילויותיו. משנוצרה מערכת חדשנית היא ממשיכה לתפקד כמערכת אקולוגית

מקטינים את אספקת שירותי המערכת (UNCCD האדם הבלתי מבוקרות בנגב מתבטאות בהידרדרות של שירותי המערכת. מקורה של הידרדרות זו בניצולית של משאבי הטבע המוגבלים באזור. פעולות האדם הבלתי מבוקרות כוללות רעיית-יתר, כריתת מעוצים ועיבודי קרקע לא משמרים. נוסף על כך, שינויי האקלים הבאים לידי ביטוי באירועי אקלים קיצוניים, כגון בצורת ממושכת ואירועי גשם קיצוניים בעוצמות גבוהות, הם הגורמים המרכזיים בירידה בהיקף ובאיכות של שירותי המערכת. הירידה מתבטאת למשל בחוסר ויסות מי נגר, פגיעה במגוון הצומח וירידה ביצרנות. האצת תהליכי העיור, הרחבת תשתיות תחבורה, בנייה והשתלטות לא חוקיות על קרקע חקלאית – כל אלו פוגעות קשה בתפקודן של המערכות האקולוגיות וגורמות לירידה של ממש בשירותיהן. פעילות קק"ל גורמת לעצירת תהליכי הדרדרות ולעלייה בשירותי המערכות האקולוגיות בצפון הנגב. פעילות זו מתבססת על אסטרטגיות ניהול חדשות לשטחים פתוחים הנשענות על שיקום תפקודים אקולוגיים, כלומר על עדכון הנישיות השמרניות המתמקדות בשימור מינים (Palmer et al. 1997, Fischer et al. 2006, King & Hobbs 2006, Crow 2014, Laughlin 2014). האסטרטגיות החדשות מנסות להתמודד עם ההשפעה חסרת התקדים הגוברת והולכת של בני האדם על השטחים הפתוחים ועם המחסור במשאבים. לשם כך מחוזקים תפקודי המערכת האקולוגית המשמשים מסד לשירותי המערכת (Redford & Adams 2009). גישות ניהול חדשות אלו מציעות ניהול שטחים פתוחים לקידום תועלת סביבתית, חברתית וכלכלית כאחד (De Groot 2010, Daily 1997). קק"ל מנהלת את השטחים הפתוחים בצפון הנגב במטרה לעצור את תהליכי הדרדרות, לשקם מערכות אקולוגיות ולספק מגוון רחב של שירותים אקולוגיים.

השקפתה של קק"ל על שירותי המערכת במסגרת השיקום נובעת מגישה אינטגרטיבית: המרקם האקולוגי שנוצר בממשק השיקומי, שירותי המערכת וממצאי הניטור מובאים כולם בחשבון.

גירויים, ערכים אסתטיים, קשרים חברתיים השזורים ביחסי אדם-סובב, קשרי מורשת למקום, ערכים תרבותיים הנובעים מקשרי אדם-סובב, יצירתיות והשראה תלויה סובב וכן תיירות המושפעת מאקולוגיה (MA 2003), לערכי מורשת תרבותית הקשורים לנופים תרבותיים והיסטוריים יש חשיבות מיוחדת במסגרת שירותי התרבות, ובייחוד בהקשר של תרבות פנאי ותיירות אקולוגית (recreation and ecotourism). נושא שירותי התרבות מתפתח רק לאחרונה, והוא המורכב מכל שירותי המערכת, הואיל וקשה לכמת אותו, אך יש לו חשיבות גדולה למערכות האקולוגיות שקק"ל מנהלת (Orenstein et al. 2012);

- שירותי בית גידול – שירותים שהמערכת האקולוגית מספקת ליצורים החיים בה כדי לאפשר להם להשלים את מחזור חייהם – שירותים אלו הם למעשה שירותי תרבות עקיפים, כלומר, התועלת שהאדם מפיק מקיומם של בעלי חיים וצמחים בשטחים פתוחים. שירותי בית הגידול מספקים את כל הצרכים שצמחים ובעלי חיים זקוקים להם למחייתם: מזון, מים ומחסה. כל מערכת אקולוגית המספקת מגוון בתי גידול החיוניים להשלמת מחזורי החיים של המינים המתקיימים בה מספקת שירותי בתי גידול (TEEB 2010);
- שירותי אספקה – חומר ואנרגיה שפעילות המערכת האקולוגית מספקת לאדם: מזון, סיבים, דלק ומקורות אנרגיה, מקורות גנטיים המשמשים לריבוי (חקלאי) של בעלי חיים וצמחים ולפיתוחים ביו-טכנולוגיים, ביו-כימיקלים ותרופות (TEEB 2010).

4.2 || השירותים האקולוגיים במערכת המשוקמת בשטחי קק"ל בצפון הנגב

תהליכי המדבור בצפון הנגב מושפעים, כמו במקומות אחרים בעולם, משני גורמים מרכזיים: פעילות האדם ושינויי אקלים. שינויי האקלים

ממצאים אלו מספקים מידע עדכני לקק"ל לצורכי ממשק סתגלני.

להלן פירוט השירותים האקולוגיים הניתנים בשטחי קק"ל בצפון הנגב.

4.2.1 || שירותי ויסות

4.2.1.1 ויסות מחזור המים

המים הם הווסת המרכזי לדינמיקה של המערכת האקולוגית באזורים יובשניים. משטר הגשמים הוא המקור לשיטפונות והוא בעל השפעה המרכזית על יצרנות המערכת ועל מחזור היסודות. השיקום התפקודי בעקבות פעולות שימור המים ואיסוף הנגר והנטיעות מאפשר את ויסות תנועת המים באגני ההיקוות. בזכות הוויסות מתאפשרת חלוקת מים ברחבי האגן בהתאם לצורכי האדם והטבע, נמנעים שיטפונות ובריחת משאבים, מתאפשר ניהול משאבי מים בתנאים של אירועי אקלים קיצוניים ואף מווסתות התנועה והאיכות של הקרקע וכן האנרגייה ומחזור היסודות.

חלק מאגן ההיקוות בשטחי קק"ל אינו מטופל, במטרה לאפשר התפתחות נגר וקליטתו במורד. מערכות איסוף מי הנגר מווסתות את זרימת המים במעלה האגנים (באגני היקוות קטנים).

ויסות זרימת המים נעשה לשלוש מטרות: מניעת נזקי שיטפונות, הקטנת סחף קרקע והגדלת הייצור הראשוני.

מניעת נזקי שיטפונות באירועי גשם ונגר חריגים – נטיעת יערות המשמשים "חגורות ירוקות" בסמיכות ליישובים, המתבצעת עם איסוף מי נגר במדרונות ובאפיקים, מווסתת את עוצמת השיטפונות באזורים אלו. בעבר נצפו נזקים לתשתיות ולמבנים ביישובים בצפון הנגב בעקבות שיטפונות בעונת הגשמים. מערכות קציר הנגר של קק"ל מסוגלות לווסת ולקלוט את מרבית מי הנגר. בניטור שנערך בסביבות היישוב עומר הוכח שמערכות קציר הנגר של קק"ל ביער צעיר מנעו נזקי הצפה, קלטו את מי הנגר והקטינו את ספיקת השיא ב-86% בהשוואה לשטחים ללא מערכות קציר נגר (ארבל 2004). יערות שיש בהם יחידות נוף אוגרות נגר מסוגלים לקלוט כמויות גשם ונגר

באירועי קיצון (ההסתברות להתרחשותם היא 1%), ובכך נמנעים נזקי סחיפה והצפה ביישובים (גטקר וארבל 2006). החורף של שנת 2013-2014 בצפון הנגב התאפיין באירועי גשם קיצוניים מבחינת העוצמה וכמויות הגשם. מתברר כי גם באירועים קיצוניים אלו, השטחים הנטועים בשיטות קציר נגר הקטינו במידה ניכרת את ספיקת השיא ומנעו התפתחות ערוצים באפיקים וסחף במדרונות. באתרי ממשק רעייה התרחשו אירועים שיטפוניים ששיעור הספיקה הסגולית בהם (ספיקה ליחידת שטח) היה 35-50 מ"ק לשנייה לקמ"ר. בשטחים שטופלו בנטיעה ואיסוף מי נגר הייתה הספיקה הסגולית נמוכה הרבה יותר (ארבל וגטקר 2014).

שינויים המתרחשים לאורך זמן בשימושי הקרקע באגני ההיקוות בצפון הנגב, ובהם הרחבתם של שטחים מבוזנים ותשתיות תחבורה והגדלת שטחי החקלאות, עלולים להתבטא בעליית שיעורי עוצמת השיטפונות. בראייה אגנית, היער הוא אמצעי לוויסות שינויים אלו ולמניעת הנזקים הכרוכים בעליית שיעורי הנגר והסחף.

4.2.1.2 ויסות קרקע

הפחתת נזקי סחף קרקע והגדלת הייצור הראשוני – בצפון הנגב אפשר להבחין בנזקי סחף קרקע חמורים בעקבות אירועי גשם בעוצמות גבוהות במהלך עונת הגשמים בכל שנה. פעולות קק"ל לניקוז ואיגום של מי הנגר ולהגברת הכיסוי הצמחי מתבצעות בראייה כללית של אגן ההיקוות, והן מונעות נזקי סחף קרקע ותהליכי נסיגת ראשי ערוצים. פעולות קק"ל במעלה האגנים מווסתות את נזקי הנגר ומגנות על הקרקע במורד. למעשה, שטחי קק"ל קולטים מי נגר וסחף משטחי מרעה, חקלאות ושטחים מבוזנים, ובכך שטחים אלו מווסתים את זרימת המים והסחף ברמה האגנית.

מניעת סחף באפיקים בסמיכות לשטחים חקלאיים ובקרה של דליפת דשנים וחומרי הזברה לערוצי נחלים – באזורים נרחבים בצפון הנגב החקלאים נוהגים להגדיל את שטחי העיבוד החקלאי על חשבון שטחי גדות הנחלים ואפיקי הזרימה. בעקבות זאת מתרחשים תהליכי בליה וסחף

גידול המשמשים מפלט לפרוקי רגליים שמקורם בשדות. מחקר זה מחזק את הדעה שיש חשיבות רבה לעצים הנטועים והמשמשים מפלט לפרוקי רגליים טורפים, משום שאלה יכולים לווסת את כמויות המזיקים בחקלאות.

4.2.1.4 ויסות שירותי האבקה

האבקה היא תהליך מפתח במערכות אקולוגיות יבשתיות, טבעיות או כאלה שהאדם מנהל (Klein et al. 2007, Kremen 2005). לולא שירותי האבקה, גם מינים במערכת האקולוגית הקשורים זה בזה וגם מגוון תפקודים היו קורסים. ירידה במספרי המאביקים יכולה להגביל את ייצור הזרעים והפירות ולפגוע באספקת המזון של חברות אקולוגיות (Bradbear 2009). לעומת זאת, שמירת שירותי האבקה תבטיח את קיומם של שירותי בית גידול ואת קיומן של אוכלוסיות צמחים תלויי האבקה. צמחים אלו מסייעים בשימור הקרקע ומצמצמים תהליכי בליה ומדבור. בכך תורמים שירותי האבקה להגדלת שירותי ויסות הקרקע (Ecological Society of America 2008).

לפחות 30% ממיני הגידולים החקלאיים ברחבי העולם תלויים בהאבקה של דבורים וחרקים אחרים. ענף החקלאות בארצות הברית הסתמך במשך שנים רבות על שירותי ההאבקה של דבורת הדבש, ולכן התמקדו רוב המחקרים להערכת החשיבות הכלכלית של שירותי ההאבקה בחקלאות ובדבורי דבש. קלדרון ומורס (2000) העריכו את שווי יכולי החקלאות בארצות הברית שמקורם בהאבקה באמצעות דבורי דבש, ב־14.6 מיליארד דולר.

בישראל מצאו צבן וחכימה־קוניאק (2011) כי הערך הפוטנציאלי של תפוקת דבש באזור המועצה האזורית חוף אשקלון, אזור שמוצבות בו בקביעות כ־1,350 כוורות, הוא כ־5 מיליון ש"ח בשנה. בשטחי קק"ל בצפון הנגב מוצבות בקביעות כ־18,000 כוורות שאפשר להעריך את פוטנציאל שיווק הדבש שלהן בכ־66 מיליון ש"ח בשנה (אבידור 2014). הכוורות המוצבות בצפון הנגב מסייעות במתן שירותי האבקה לגידולים חקלאיים רבים באביב ובקיץ (גידולי מקשה ומטעים). בשאר

ניכרים, ואפיקי הנחלים מזדהמים בדשנים ובחומרי הדברה. במסגרת פעולות הייעור של קק"ל לאורך האפיקים היא נוקטת אמצעים לשימור קרקע ומים, וכך נוצרות רצועות חיץ אקולוגיות עתירות צומח טבעי ונטוע. רצועות החיץ הללו מווסתות וקולטות את הנגר והסחף מהשדות החקלאיים ומקטינות את דליפת חומרי הדשן וההדברה לאפיקים. נוסף על כך, פעולות קק"ל לאורך האפיקים מגנות על שטחי החקלאות ומונעות התחתרות ראשי ערוצים ואבדן קרקע חקלאית.

4.2.1.3 ויסות יחסי צמחים־חרקים

שימור אוכלוסיית האויבים הטבעיים של מזיקים בגידולי חקלאות (biological control) מהווה נדבך חיוני בקידום ממשק הדברה ידידותי לסביבה. מערכות חקלאיות רבות אינן יכולות לשמש מפלט לאויבים טבעיים בשל הפרעה של ממש שקוטלי החרקים והממשק החקלאי גורמים לאוכלוסיותיהם (van Emden et al. 1990, Thomas et al. 1992a, Dix 1995, Letourneau & Altieri et al. 1999, pp. 319-354). בתי גידול משוקמים, ובהם עצים, בשכנות לבתי הגידול החקלאיים, מספקים משכן וממלאים את הצרכים של עשרות מיני אויבים טבעיים למזיקי החקלאות (van Emden et al. 1965, Hall et al. 1980, Altieri & Letourneau 1982, Pickett & Bugg 1998, Thomas et al. 1992b). מנדל ועמיתיו (2012) בחנו את חשיבותם של יערות אורן וברוש בכל הקשור בשימור מגוון אויבים טבעיים לחקלאות, ובייחוד לכנימות מגן. הממצאים מצביעים על עושר האויבים הטבעיים הפועלים כנגד קבוצות מזיקים. שימורם של אויבים טבעיים אלו תלוי במידה רבה בשגשוג היערות סביב בתי הגידול החקלאיים. מחקר ייחודי שבדק את השפעת העצים בסמוך לשדות חקלאיים בנגב בחן את תרומתם של בתי גידול נטועים לדינמיקה של פרוקי הרגליים הטורפים, שהם אויבים טבעיים פוטנציאליים למזיקי חקלאות (לובין, מידע אישי). במהלך עונת הקיץ בית הגידול הטבעי בסביבה החקלאית בצפון הנגב יבש, ולכן אינו יכול לספק מקלט למיני טורפים בשדות החקלאיים. עקב כך יש חשיבות לבתי

כדי להגביר את קיבוע הפחמן ולמתן את אפקט החממה הצפוי (Böttcher et al. 2010).

לא (Lal 2001, 2003, 2004, 2007) מציין ששימור קרקע, שימור מים, איסוף מי נגר ושיקום בתי גידול מדורדרים, מצמצמים את סיכון פליטות הפחמן ומגבירים את קיבוע הפחמן בקרקע ובצומח.

יער באזור יובשני, כדוגמת יתיר, מקבע פחמן, הן בקרקע דלת הפחמן שעליה הוא נטוע והן בגזעים, ובכך הוא תורם למיתון האקלים (Rotenberg & Yakir 2010).

בעקבות ניטור ומחקר ארוך-טווח ביער יתיר הוכח שייחודו של היער הנטוע באזור הצחיח למחצה הוא בהיותו מערכת שמקבעת פחמן בשיעורים גבוהים יחסית (Rotenberg & Yakir 2010). תנאי השטח הייחודיים של אזור יער יתיר מאופיינים בהפרעה קיצונית לצמחייה שמחוץ לשטחי יער יתיר עקב רעיית יתר ופעילות אדם. מידת החזרת הקרינה מאזורים חשופים אלו גבוהה יותר מאשר

עונות השנה, הספק העיקרי של צוף ואבקה הם שטחי הייעור של קק"ל.

בשטחי הייעור של קק"ל בצפון הנגב נטועים מאות אלפי עצים צופניים, כגון חרוב מצוי, שיזף מצוי, אשל ומיני איקליפטוס. מיני עצים אלו מספקים דרך קבע מקור לא אכזב של צוף ואבקה, ואלה חיוניים לקיומן ושגשוגן של אלפי הכוורות הפזורות בצפון הנגב.

4.2.1.5 יסות מחזור הפחמן

ליערות נטועים יש חשיבות גדולה בוויסות מחזור הפחמן (Bauhus et al. 2010). היערות הם מאגר של פחמן המשמש מקור אנרגייה ומסייע להפחתת אפקט החממה (על-פי המקובל על מרבית המדענים העוסקים בתחום: שינויי אקלים מתרחשים בעקבות פליטת גזי חממה). הפסקת תהליך ביעור יערות ונטיעת יערות חדשים מוצעים כצעדים אפשריים שעל האנושות לנקוט



תמונה 30

חיוני קק"ל בצפון הנגב משמשים לבילוי ונופש לכלל האוכלוסייה

ביער יתיר. עקב כך, המאזן הכללי של תרומת היער לקירור תחתית האטמוספירה מתבטא ביער בוגר שגילו עשרות שנים.

ראוי לציין שיער יתיר ניטע לפני כחמישים שנה, ולפיכך תרומתו לקירור תחתית האטמוספירה אינה מוטלת בספק.

מדענים טוענים (Lee 2010, Leu 2010) כי ייעור שטחים נרחבים באזורים יובשניים למחצה (דוגמת השטחים בארצות השכנות, שם שטח היערות נמוך בהשוואה לשטח היערות בישראל) עשוי לגרום שינויים במשטר הרוחות ובתנאים אטמוספריים, כגון הכנסת אוויר לח יותר לאזור, ובכך ימותנו שינויי האקלים באזורנו.

4.2.2 || שירותי תרבות

בנוף תרבותי וממודבר באזור צחיח למחצה מועטות החורשות ואין יערות רבים העשויים להוות מקור

מרכזי לשירותי נופש ופנאי. היערות והשטחים הפתוחים שבניהול קק"ל מהווים רק כ-6% מכלל השטחים בצפון הנגב ומספקים את רוב שירותי הנופש והפנאי. הכפלת שטחי המגורים והגידול במספר התושבים באזור זה יצרו דרישה גוברת והולכת לשירותי תרבות, ובעיקר לשטחי נופש ופנאי בעבור האוכלוסייה.

התפתחות תרבות הפנאי, ובעקבותיה העלייה בכמות כלי הרכב הפרטיים ושיפור מערך הכבישים, מאפשרים לתושבי מרכז הארץ נגישות גבוהה לצפון הנגב; כל יערות קק"ל עומדים לרשות הציבור למטרות נופש ותיור - חינוך. פעילות הציבור היא בשטח היער ובסביבותיו.

הפעילות מתבצעת בחניונים (תמונה 30), מסלולי טיול רגליים, רכיבה בשבילי אופניים (תמונה 31) וביקור באתרי טבע ומורשת ייחודיים שקק"ל מטפחת.

"החגורות הירוקות" סביב היישובים נגישות לכלל



תמונה 31

רוכבי אופניים ביער בארי



תמונה 32

בוסתנים בחגורת הירק העוטפת את מיתר



תמונה 33

מבקרים בגת עתיקה בשביל המתקנים החקלאיים ביער יתיר

ושבילים להולכי רגל ורוכבי אופניים (תמונה 33), המושכים מבקרים רבים הן מהסביבה הקרובה והן מכל רחבי הארץ.

יערות קק"ל בצפון הנגב משופעים באטרקציות תיירותיות המושכות מבקרים רבים מכל רחבי הארץ. לדוגמה "דרום אדום": פריחת כלניות

הציבור ומספקות שירותי פנאי ונופש בסמוך לסביבת המגורים (תמונה 32).

גם רצועות החיץ האקולוגיות שהקימה קק"ל ושמפרידות בין השטחים החקלאיים לנחלים מספקות מגוון שירותי נופש ופנאי. באזורי חיץ אלו משולבים אתרים ארכאולוגיים, אתרי פריחה



תמונה 34
 "דרום אדום": מטיילים
 ביער שוקדה בעת
 פריחת הכלניות



תמונה 35
 יזמויות פרטיות בעת "דרום אדום" - דרך מתקני המים, ליד קיבוץ רעים

זה ואף תומכים בהם (חדרי אירות, מסעדות וכד'). בעקבות פיתוח התשתיות קולטות הקהל ביערות קק"ל הוקמו עסקים פרטיים המספקים שירותים ייחודיים לפעילות התיירותית באזור (תמונה 35). חורשות קק"ל משמשות את יחידות הצבא במצבי

מרהיבה בשטחי קק"ל זכתה להכרה רבה ומושכת מאות אלפי מבקרים מדי שנה בשנה (תמונה 34). לשירותי הנופש והפנאי ביערות קק"ל יש תרומה כלכלית נכבדת לתושבי צפון הנגב. המבקרים הרבים נהנים משירותי התיירות באזור



תמונה 36 יחידה צבאית חוסה בחורשת קק"ל, ב"עוטף עזה", במהלך מבצע "צוק איתן"

(בוקן, מידע אישי). המגוון התפקודי המיקרוביאלי גדל אף הוא עקב איגום המים בשיחים (Paz-Kagan et al. 2014b). פעולות ייצוב של מצוקי לס במסגרת פעולות השיקום לאורך האפיקים תורמות לשמירת בית הגידול של עופות מקננים (שוחט 2011). פעולות השיקום של קק"ל בנחלים בצפון הנגב, דוגמת נחל צידה ונחל זיז, תורמות גם לשימור מינים נדירים, כגון תורית זנבנית, יונת העצים, סלעית קפריסאית וחנקן חיוור (תמונה 37). נוסף על כך יש בשטחי הייעור של קק"ל בצפון הנגב כמה מיני מפתח החשובים לתפקוד המערכת האקולוגית. מיני המפתח כוללים טרמיטים (Zaady et al. 2003) נמלים (Wilby and Shachak 2000), שבלולים (Shachak et al. 1981) ועכבישים (Whitehouse et al. 2002).

היערנות והמרעה הנהוגים ביערות קק"ל הם הגורם המרכזי לפריחת גיאופיטים דוגמת פריחת הכלניות ("דרום אדום") ולמשיכת מאות אלפי מבקרים. יערות קק"ל משמשים אתרי צל ומרעה לבעלי חיים גדולים ומהווים מפלט מסכנת ציד (תמונה 38).

רגיעה וחירום כאחד (תמונה 36). החורשות בנגב המערבי מעניקות צל ומסתור ומונעות אבק בעת פעילות הצבא באזורים אלו.

4.2.3 || שירותי בתי גידול

מחקרים וניטור ארוך-טווח הוכיחו שפעולות קק"ל לאיגום מי נגר מקטינות את אבדן המים והחומר האורגני וכן את אידיי המים מהקרקע. פעולות אלו מגבירות מאוד את רמת היצרנות של המערכת האקולוגית ואת המגוון הביולוגי בהשוואה לשטחים שאינם ערוכים לקליטת מי נגר (Boeken & Shachak 1994). הואיל והייצור הראשוני הוא משאב האנרגיה לכל פעילות המערכת האקולוגית, הרי שהגברת הייצור פירושה שירות אספקת אנרגיה בבית הגידול לקיום מגוון רחב של אורגניזמים שמתקיימים על תוספת האנרגיה בעקבות השיקום התפקודי. בפארק סיירת שקד נמצא מגוון גדול של צמחים. המספר הכולל של מיני הצמחים הוא כ־150, והם כוללים 124 מיני עשבוניים, 20 מיני גיאופיטים ו־6 מיני מעוצים



יונת עצים



חנקן חיוור



סלעית קפריסאית



תורית זנבנית

תמונה 37 פעולות השיקום של קק"ל בנחל צידה תורמות לשימור מגוון העופות, ובהם מינים נדירים



תמונה 38 צבאים חוסים בצל עצים צעירים ביערות קק"ל בצפון הנגב (מיתר וחירן)

בצורת ובעקבותיהם. ניטור יחידות נוף אוגרות נגר בצפון הנגב בשנות הבצורת 2007-2010 הוכיח שהצומח העצי, השיחי והעשבוני שרד והשתקם ביחידות נוף אלו, ולעומת זאת היו תמותת שיחים

ממצאי מחקרי אקלים חוזים עלייה בתדירות הבצורת ובעוצמתה באזורנו (Dai 2011, Verner 2012). קשה להפריז בחשיבות חסינותן ואפשרויות השתקמותן של מערכות אקולוגיות בעת אירועי

בהיקף נרחב ופגיעה במערכות אקולוגיות ביחידות
נוף שלא נאגרו בהן מי נגר (Paz-Kagan et al.,
2014c).

4.2.4 || שירותי אספקה

יערות קק"ל בצפון הנגב מספקים שטחי מרעה
וחומר בע"ה לתושבים המקומיים. שירות אספקה
זה חשוב במיוחד עקב המגמה המתמשכת של
אבדן שטחי המרעה המסורתיים והמרתם לשטחי
חקלאות.

4.2.4.1 אספקת שטחי רעייה

בצפון הנגב חל שינוי משמעותי בשנים האחרונות
בהתפלגות שימושי הקרקע. שטחי המרעה קטנו
ביותר. בעבר היוו שטחים אלו כ-55% מכלל השטח
בצפון הנגב, וכיום הם מהווים 33% משטחו בלבד,
ואילו שטחי החקלאות גדלו מ-31% ל-42%. שטחי

הייעור של קק"ל בצפון הנגב, המהווים רק 6%
מכלל השטח הפתוח, מספקים שטחי רעייה וצל
לכ-175 עדרי צאן ובקר.

33,000 ראשי צאן ובקר רועים רעייה עונתית
ומבוקרת בשטחי קק"ל שבצפון הנגב (דו"ח קק"ל
פנימי, דו"ח רמ"י). שטחים אלו מספקים צל ומזון
מגוון, ובו עשבונים, שיחים, פירות ועלים מעצי
היער.

קק"ל משקיעה משאבים רבים בניהול מושכל ובר
קיימא של השטחים בניהולה. רעייה מבוקרת היא
כלי יעיל בניהול העדרים והשטחים הפתוחים.

במסגרת הניטור והמחקר שקק"ל מקדמת ביערות
שופר ממשק הרעייה העונתי ביער. בזכות ממצאי
המחקרים יש התאמה רבה יותר בין מועדי הרעייה
וגודל העדר לבין כושר הייצור הצמחי של בתי
הגידול ביערות (לנדאו 2001). הממשק המיטבי
מסייע בצמצום סכנת שרפות היער ואף מונע
נזקים שמקורם ב"רעיית לחץ" (תמונה 39). במטרה
לצמצם את נזקי הרעייה העונתית ביער חקרו



תמונה 39

רעייה מבוקרת ברצועות חיץ אקולוגיות בצפון הנגב (נחל צידה)



תמונה 40
 מכלאת צאן
 וברקע פריחת
 כלניות. לצורך
 ניהול מיטבי
 חשוב להבין
 איך משפיעות
 הרעייה ומכלאות
 הצאן על הצומח
 והקרקע



תמונה 41
 מעקב אחר
 תנועת עדרי צאן
 באמצעות מכשירי
 גי-פיאס ביער
 בארי בצפון הנגב.

מסלולי הרעייה של עדרי צאן ובקר באמצעות מכשירי גי-פיאס המוצמדים אליהם (תמונה 41). פיתוח כלים ואמצעים אלו עשוי לסייע בניהול הרעייה באופן מיטבי. רעייה עונתית מבוקרת מפחיתה את הלחץ ומקטינה את הנזק של רעייה לא מבוקרת בשטחים פתוחים אחרים בצפון הנגב.

קיגל ועמיתיו (2013, 2014) את השפעת מכלאות הצאן על הקרקע והצומח, את משך הזמן הנדרש ל"הבראת" אתר המכלאה ואת הממשק המומלץ לשיקומו ומיקומו מחדש של מכלאות צאן ביער (תמונה 40).

אונגר ועמיתיו (2013) מפתחים כלים למעקב אחר

4.2.4.2 אספקת עץ וחומרי בערה

יערות קק"ל בצפון הנגב מספקים חומרי בערה לקהילות המקומיות. מסקר שנערך ביער יתיר התברר שבשלוש השנים האחרונות, 2013-2011, סופקו כ־17,000 טון עץ לשימושים שונים. מקורם כ־34,000 דונם יער. כמו כן חולקו חינם כ־17,000 טון גזם לתושבים המקומיים לצורכי בישול וחימום

(תמונה 42). ראוי לציין כי הכמות הכוללת של עץ שהוצאה מהיער לשימושן של הקהילות בצפון הנגב בשנים 2011-2013 הייתה כ־37,000 טון. כמות גזם בהיקף דומה סופקה חינם לתושבים המקומיים בהר חברון ובצפון הנגב (תכנית עבודה שנתית של קרן קימת לישראל באישור משרד החקלאות לשנים 2011-2013).



א

תמונה 42

גזם המסופק חינם לקהילות המקומיות בצפון הנגב במסגרת הממשק היערי השוטף
א. ממערב ליער להב



ב

ב. מדרום ליער יתיר



ביבליוגרפיה

5

גרנות, י', ברנד, ס' ושחק, מ' (2012). שינויים בגודל האוכלוסייה של טחבן המדבר כסמן להשפעת שינויים במשטר הגשמים על מערכות אקולוגיות בנגב. אקולוגיה וסביבה יוני 2012 (2): 186-181.

גרדוס, י' ומאיר-גליצנשטיין, א' (2008). באר שבע: מטרופולין בהתהוות: קובץ מאמרים. מרכז הנגב לפיתוח אזורי.

נרתי, ר', גטקר, מ', ארבל, ש', לזנוב, מ', גוטסמן, מ' ופיזיק א' (1995). דו"ח מיוחד מס' 52 - M. משטר הגשמים בנגב ובערבה בחורף 1994/95 וארועי הגאיות אשר התרחשו בעקבותיו. התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

לאודרמילק, ו"ק (1943). ארץ ישראל הארץ היעודה, ספרית הפועלים, הוצאת הקיבוץ הארצי השומר הצעיר.

לנדאו, י', ברקאי, ד', הראל, י', ברעם, ח', יונתן, ד' וניצן, ר' (2001). בחינת ממשק הרעייה בשטחי קק"ל בדרום. דו"ח סופי מס' 257-0183-99 (1999-1997). המחלקה למשאבי טבע, מנהל המחקר החקלאי, בית דגן. המחלקה למשאבי טבע וגד"ש, חוות גילת.

מנדל, צ', פרוטסוב, א', אליהו, מ', מדר, צ', ספיר, נ' וזהבי, ע' (2012). החשיבות של עצי היער בהדברה ביולוגית של חרקים מזיקים בבתי גידול חקלאיים. דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מס' 11-1486-131 לשנים 2009-2011, מינהל המחקר החקלאי.

צבן, ש' וחכימה-קוניאק, ג' (2011). מאזן שטחים פתוחים - כלי מוצע למקבלי החלטות - מקרה בוחן של תרומת השטחים לקיום דבורי הדבש במועצה אזורית חוף אשקלון, קרן נקודת ח"ן.

אבידור, ה' (2014). תפרוסת כוורות ארצית, דו"ח פנימי של מועצת הדבש, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

אונגר, ד', כהן, י', צורף, ח', צוקרמן, מ', גולדשטיין, א', בן משה, ע' וברעם, ח' (2013). פיתוח כלים לניהול רעיית עדרי צאן ביערות קק"ל. דוח שנתי לתכנית מחקר מס' 722-0904-31. המחלקה למשאבי טבע, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן.

ארבל, ש' (2004). דו"ח ראשוני מחקירת אירוע זרימה בנחל בתרים מתאריך 29.10.2004. התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

ארבל, ש' (2005). מחקר הלימנים - ניתוח 16 שנות תצפית. דו"ח מסכם, התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

ארבל, ש' (2009). יחסי גשם-נגר ממדרונות לס, וממשקי ניהול שטח שונים באזור צחיח וצחיח למחצה, אוניברסיטת חיפה.

ארבל, ש' וגטקר, מ' (2014). מאפייני זרימות משטחי מערכות קצרי הנגר והמרעה בסופות חריגות בשנה ההידרולוגית 2014/2013 בפארק סירת שקד בצפון הנגב. דו"ח ניטור שנתי לקק"ל.

ארזי, ע' וברלינר, פ' (2012). פיתוח כלי יישומי לתכנון מערכת שיחים לנטיעת יער באזורים צחיחים וקביעת מאזן המים בשיחים לאורך המדרון. דו"ח מסכם למחקר מס' 857-0674-12, מוגש לקרן הקימת לישראל.

גטקר, מ' וארבל, ש' (2006). השפעת הייעור, פעולות שימור קרקע וניהול הרעייה בדרום הארץ על היבטי זרימה וסחף קרקע. דו"ח מסכם תלת שנתי - 90-9-171-03, התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., and Kitzberger, T. (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.

Altieri, M.A., and Letourneau D.K. (1982). Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Prot.* 1:405-30.

Avni, Y. (2005). Gully incision as a key factor in desertification in an arid environment, the Negev Highlands, Israel. *Catena* 63(2):185-220.

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):77-200.

Bauhus, J., Van der Meer, P., and Kanninen, M. (eds.), (2010). *Ecosystem Goods and Services from Plantation Forests*. Earthscan publishing, London.

Boeken, B., and Orenstein, D. (2001). The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid shrubland. *Journal of Vegetation Science* 12:825-832.

Boeken, B., and Shachak, M. (1994). Desert plant communities in human-made patches -Implications for management. *Ecological Applications* 4:702-716.

Boeken, B., and Shachak, M. (1998). Colonization by annual plants of an experimentally altered desert landscape: Source-sink relationships. *Journal of Ecology* 86:804-814.

Böttcher, H.M.L. (2010). Managing forest plantations for carbon sequestration today and in the future. In: J. Bauhus, P. Van der Meer, and M. Kanninen (eds.), *Ecosystem Goods and*

צמח, י' (1990). השפעת קרומי משקע בלס על קצב חידור מי נגר באגני היקוות. עבודת גמר, אוניברסיטת בן גוריון.

צעדי, א' (2013). בחינת השירותים האקולוגיים של חורשות קק"ל הנטועות בגבול שטחים חקלאיים, עם מזעור פיזורם של מזהמים וחמרי הדברה. דו"ח ביניים למחקר מס' 40-03-012-13, הנהלת מחקרי מפ"ק, קק"ל.

קיגל, ח', וינוגרד, א', חכימה-קוניאק, ג', צעדי, א', ברקאי, ד' ויהונתן ר' (2014). שטחים מדורדרים במכלאות צאן בצפון הנגב: תהליכי התאוששות ודרכי שיקום לשיפור הייצור והמגוון הביולוגי של הצומח. דו"ח למדען הראשי, המשרד להגנת הסביבה.

קיגל, ח', וינוגרד, א', צעדי, א', ברקאי, ד' וסיאקי, ג' (2013). מחזור מכלאות צאן לשיפור יצרנות המרעית ביערות נטועים. דו"ח מס' 837-0105-12, לשנת 2012-2013.

שוחט, א' (2011). סיכום סקר עופות בנחל צידה. דוכיפת, המרכז לצפרות ואקולוגיה, ירוחם.

שחק, מ' (2011). מרקמים אקולוגיים: מערכות אקולוגיות בצפון הנגב כמודל. אקולוגיה וסביבה 1: 18-29.

- Services from Plantation Forests. Earthscan, London, pp 43-77.
- Bowker, M.A., Maestre, F.T., Eldridge, D., Belnap, J., Castillo-Monroy, A., Escolar, C., and Soliveres, S. (2014). Biological soil crusts (biocrusts) as a model system in community, landscape and ecosystem ecology. *Biodiversity and Conservation* 1:1-19.
- Bradbeer, N. (2009). *Bees and Their Role in Forest Livelihoods - A Guide to the Services Provided by Bees and the Sustainable Harvesting, Processing and Marketing of Their Products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. Rome.
- Browning, D.M., and Archer, R.S. (2011). Protection from livestock fails to deter shrub proliferation in a desert landscape with a history of heavy grazing. *Ecological Applications* 21(5):1629-1642.
- Bruins, H.J. (2012). Ancient desert agriculture in the Negev and climate-zone boundary changes during average, wet and drought years. *Journal of Arid Environments* 86:28-42.
- Buis, E., Veldkamp, A., Boeken, B., and Van Breemen, N. (2008). Controls on plant functional surface cover types along a precipitation gradient in the Negev desert of Israel. *Journal of Arid Environments* 73:82-90.
- Bullock, J.M. (2011). Restoration of ecosystem services and biodiversity: Conflicts and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution* 26(10):541-549.
- Burkhard, B., De Groot, R., Costanza, R., Seppelt, R., Jørgensen, S.E., and Potschin, M. (2012). Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services. *Ecological Indicators* 21:1-6.
- Cadotte, M.W., Carscadden, K., and Mirotchnick, N. (2011). Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology* 48(5):1079-1087.
- Collins, S.L., Carpenter, S.R., Swinton, S.M., Orenstein, D.E., Childers, D.L., Gragson, T.L., and Grimm, N.B. (2010). An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(6):351-357.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, and Limburg, K. (1998). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Cowie, A.L., Penman, T.D., Gorissen, L., Winslow, M.D., Lehmann, J., Tyrrell, T.D., and Twomlow, S. (2011). Towards sustainable land management in the drylands: Scientific connections in monitoring and assessing dryland degradation, climate change and biodiversity. *Land Degradation and Development* 22(2):248-260.
- Crow, T.R. (2014). Functional restoration: From concept to practice. *Journal of Sustainable Forestry* 33(sup1):S3-S14.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2(1):45-65.
- Daily, G.C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press. Washington DC.
- Daniel, T.C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J.W., Chan, K.M., and von der Dunk, A. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(23):8812-8819.
- DeMalach, N., Kigel, J., Voet, H., and Ungar, E.D. (2014). Are semiarid shrubs resilient to drought and grazing? Differences and similarities among species and habitats in a long-term study. *Journal of Arid Environments* 102:1-8.
- De Groot, R.S., 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.

- Dix, M.E., Johnson, R.J., Harrell, M.O., Case, R.M., Wright, R.J.L., Hodges, J.R., Brandle, M.M., Schoeneberger, N.J., Sunderman, R.L., Fitzmaurice, L.J., and Hubbard, K.G. (1995). Influences of trees on abundance of natural enemies of insect pests: A review. *Journal of Agroforestry Systems* 29:303-311.
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., and Runyan, C.W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources* 51:326-344.
- Ecological Society of America. (2008). *Communicating Ecosystem Services Pollination Toolkit: Pollination Fact Sheet - Revealing Secrets About the Birds and the Bees.*
- Eldridge, D.J., Soliveres, S., Bowker, M.A., and Val, J. (2013). Grazing dampens the positive effects of shrub encroachment on ecosystem functions in a semi-arid woodland. *Journal of Applied Ecology* 50(4):1028-1038.
- Eldridge, D.J., Zaady, E., and Shachak, M. (2002). Microphytic crusts, shrub patches and water harvesting in the Negev desert: The Shikim system. *Landscape Ecology* 17:587-597.
- Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Gingrich, S., Bondeau, A., Fischer-Kowalski, M., and Haberl, H. (2009). Analyzing the global human appropriation of net primary production –Processes, trajectories, implications. An introduction. *Ecological Economics* 69(2):250-259.
- Evenari, M., Leslie, S., and Tadmor, N. (1982). *The Negev: The Challenge of a Desert.* Harvard University Press, Cambridge MA. USA.
- Fischer, J., Lindenmayer, D.B., and Manning, A.D. (2006). Biodiversity, ecosystem function, and resilience: Ten guiding principles for commodity production landscapes. *Front. Ecol. Environ.* 4(2):80-86.
- Fleskens, L., and Stringer, L.C. (2014). Land management and policy responses to mitigate desertification and land degradation. *Land Degradation & Development* 25(1):1-4.
- Foley, J., DeFries, A.R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., and Chapin E.S. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309(5734):570-574.
- Gebriel, A.O., and Saeid, A.G. (2012). Importance of pastoral human factor overloading in land desertification: Case studies in northeastern Libya. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology.* No. 70. World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Gilad, E., Shachak, M., and Meron, E. (2007). Dynamics and spatial organization of plant communities in water-limited systems. *Theoretical Population Biology* 72(2):214-230.
- Grenfell, M.C., Ellery, W.N., Garden, S.E., Dini, J., and Van der Valk, A.G. (2007). The language of intervention: A review of concepts and terminology in wetland ecosystem repair. *Water SA* 33(1):43-50.
- Hall, R.W., Ehler, L.E., and Bisabri-Ershadi, B. (1980). Rates of success in classical biological control of arthropods. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 26:111-114.
- Helman, D., Mussery, A., Lensky, I.M., and Leu, S. (2014). Detecting changes in biomass productivity in a different land management regimes in drylands using satellite-derived vegetation index. *Soil Use and Management* 30(1):32-39.
- Hobbs, R.J., and Harry, J.A. (2001). *Restoration Ecology: Repairing the earth ecosystems in the new millennium.* *Restoration Ecology* 9:239-246.
- Hobbs, R.J., Higgs, E.S., and Hall, C. (2013). *Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order.* John Wiley & Sons, Oxford UK.
- Hoekstra, T.W., Safriel, U.N., Al-Balqa, A.K., Mohammad, A.G., Kusek, G., and Troendle, C.A. (2007). *Monitoring and Evaluation of Watersheds in the Middle East Region.* Project number: M20-022. Final report submitted to the U.S. Agency for International Development.

- Kagan, G. (2013). Spatial valuation of planting trees in water harvest systems (WHS), in the northern Negev, using remote sensing and GIS techniques. Master Thesis, Ben Gurion University of the Negev,
- Karnieli, A., Gabai, A., Ichoku, C., Zaady, E., and Shachak, M. (2002). Temporal dynamics of soil and vegetation spectral responses in a semi-arid environment. *International Journal of Remote Sensing* 23:4073-4087.
- Kidron, G.J. (2014). The negative effect of biocrusts upon annual-plant growth on sand dunes during extreme droughts. *Journal of Hydrology* 508:128-136.
- King, E.G., and Hobbs, R.J. (2006). Identifying linkages among conceptual models of ecosystem degradation and restoration: Towards an integrative framework. *Restoration Ecology* 14(3):369-378.
- Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., and Tscharntke. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Biol. Sci.* 274(1608):303–313.
- Kosmas, C., Kairis, O., Karavitis, C.H., Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, S., and Alcalá, M. (2013). Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: Methodological approach. *Environmental Management* 1:1-20.
- Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8:468-479.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degrad.* 12:519-539.
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* 29:437-450.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global change and food security. *Science* 304:1623-1627.
- Lal, R. (2007). Carbon management in agriculture soils. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12(2):303-322.
- Laughlin, D.C. (2014). Applying trait-based models to achieve functional targets for theory-driven ecological restoration. *Ecology Letters* 17(7):771-784.
- Lee, X. (2010). Forest and climate: A warming paradox. *Science* 328:1479.
- Leopoldo, S.G., Maestre, F.T., and Burkhard, B. (2014). Biological soil crusts in a changing world: Introduction to the special issue. *Biodiversity and Conservation* 1:1-7.
- Letourneau, D.K., and Altieri, M.A. (1999). *Environmental Management to Enhance Biological Control in Agroecosystems. Handbook of Biological Control.* University of California Press, Berkley USA.
- Leu, S. (2010). Forest and climate: The search for specifics. *Science* 328:1479-1480.
- Leu, S., Mussery, A.M., and Budovsky, A. (2014). The effects of long time conservation of heavily grazed shrubland: A case study in the northern Negev, Israel. *Environmental Management* 1:1-11.
- Li, X.J., Li, X.R., Song, W.M., Gao, Y.P., Zheng, J.R., Jia, R.L. (2008). Effects of crust and shrub patches on runoff, sedimentation, and related nutrient (C, N) redistribution in the desertified steppe zone of the Tengger Desert, Northern China. *Geomorphology* 96(1):221-232.
- Ludwig, J.A., Bradford, P.W., Breshears, D.D., Tongway, D.J., and Imeson, A.C. (2005). Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86(2):288-297.
- MA (2003). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment.* Island Press, Washington DC.
- MA (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis.* World Resources Institute, Island Press, Washington DC.
- Mason, N.W., and De Bello, F. (2013). Functional diversity: A tool for answering challenging

- ecological questions. *Journal of Vegetation Science* 24(5):777-780.
- Mayor, Á.G., Bautista, S., Small, E.E., Dixon, M., and Bellot, J. (2008). Measurement of the connectivity of runoff source areas as determined by vegetation pattern and topography: A tool for assessing potential water and soil losses in drylands. *Water Resources Research* 44(10).
- Molle, G., Decandia, M., Cabiddu, A., Landau, S.Y., and Cannas, A. (2008). An update on the nutrition of dairy sheep grazing Mediterranean pastures. *Small Ruminant Research* 77(2):93-112.
- Okin, G., Anthony, S., Parsons, J., Wainwright, J., Herrick, J.H., Bestelmeyer, B.T., Peters, D.C., and Fredrickson, E.L. (2009). Do changes in connectivity explain desertification? *BioScience* 59(3):237-244.
- Ore, G., and Bruins, H.J. (2012). Design features of ancient agricultural terrace walls in the Negev desert: Human made geodiversity. *Land Degradation & Development* 23(4):409-418.
- Oren, Y. 2000. Patchiness, Disturbances, and Flows of Matter and Organisms in an Arid Landscape: A Multiscale Experimental Approach. Ph.D. Thesis, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva.
- Orenstein, D.E., and Hamburg, S.P. (2009). To populate or preserve? Evolving political-demographic and environmental paradigms in Israeli land-use policy. *Land Use Policy* 26(4):984-1000.
- Orenstein, D.E., Groner, E., Argaman, E., Boeken, B., Shachak, M. (2012). An ecosystem services inventory: Lessons from the northern Negev long-term social ecological research (LTSER) platform. *Geography Research Forum* 32:96-118.
- Palmer, M.A., Ambrose, R.F., and Poff, N.L. (1997). Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration Ecology* 5(4):291-300.
- Paz-Kagan, T., Panov, N., Shachak, M., Zaady, E., and Karnieli, A. (2014a). Structural changes of desertified and managed shrubland landscapes in response to drought: Spectral, spatial and temporal analyses. *Remote Sens.* 6:8134-8164.
- Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaddy, E., and Karnieli, A. (2014b). Evaluation of ecosystem responses to landuse change using soil quality and primary productivity in a semi-arid area, Israel. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 193:9-24.
- Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaddy, E., and Karnieli, A. (2014c). A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma* 230:171-184.
- Peters, D.P.C., Yao, J., Sala, O., Anderson, J.P. (2012). Directional climate change and potential reversal of desertification in arid and semiarid ecosystems. *Global Change Biology* 18(1):151-163.
- Pickett, C.H., and Bugg, R.L. (eds) (1998). *Enhancing Biological Control: Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests*. Berkeley Univ. Calif. Press. 422 pp.
- Rango, A., Tartowski, S.L., Laliberte, A., Wainwright, J., and Parsons, A. (2006). Islands of hydrologically enhanced biotic productivity in natural and managed arid ecosystems. *Journal of Arid Environments* 65(2):235-252.
- Redford, K.H., and Adams, W.M. (2009). Payment for ecosystem services and the challenge of saving nature. *Conservation Biology* 23(4):785-787.
- Rietkerk, M., Maarten, C.B., van Langevelde, F., HilleRisLambers, R., van de Koppel, J., Kumar, L., Herbert, H.T., Prinsand, A., and de Roos, M. (2002). Self-organization of vegetation in arid ecosystems. *The American Naturalist* 160(4): 524-530.
- Rotenberg, E., and Yakir, D. (2010). Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327(5964):451-454 DOI: 10.1126/science.1179998. (Perspective: Drylands in the Earth System. D.S. Schimel. *Science* 327: 418-419)

- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J.L., Sheil, D., Meijaard, E., and Venter, M. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(21):8349-8356.
- Schwilch, G., Liniger, H.P., and Hurni, H. (2013). Sustainable Land Management (SLM) practices in drylands: How do they address desertification threats? *Environmental Management* 2:1-22.
- Segoli, M., Ungar, E.D., and Shachak, M. (2008). Shrubs enhance resilience of a semi-arid ecosystem by engineering and re-growth. *Ecohydrology* 1(4):330-339.
- Shachak, M.D., and Lovett, G.M. (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* 1:475-483.
- Shachak, M., Safriel, U.N., and Hunum, R. (1981). An exceptional event of predation on desert snails by migratory thrushes in the Negev desert, Israel. *Ecology* 62:1441-1449.
- Shahack-Gross, R., Boaretto, E., and Cabaries, D. (2014). Subsistence economy in the Negev Highlands: The Iron Age and the Byzantine/ Early Islamic period. *Levant* 46(1):98-117.
- Soliveres, S., and Eldridge, D.J. (2014) Do changes in grazing pressure and the degree of shrub encroachment alter the effects of individual shrubs on understory plant communities and soil function? *Functional Ecology* 28(2):530-537.
- Soliveres, S., and Maestre, F.T. (2014). Plant–plant interactions, environmental gradients and plant diversity: A global synthesis of community-level studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*.
- Tal, A. (2013). *All the Trees of the Forest: Israel's Woodlands from the Bible to the Present*. Yale University Press, New Haven, Conn.
- TEEB (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB*.
- Thomas, M.B., Sotherton, N.W., Coombes, D.S., and Wratten, S.D. (1992a). Habitat factors influencing the distribution of polyphagous predatory insects between field boundaries. *Ann. Appl. Biol.* 120:197-202.
- Thomas, M.B., Wratten, S.D., and Sotherton, N.W. (1992b). Creation of "island" habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and species composition. *J. Appl. Ecol.* 29:524-531.
- Turnbull, L., Bradford, P.W., Belnap, J., Ravi, S., D'Odorico, P., Childers, D., and Gwenz, W. (2012). Understanding the role of ecohydrological feedbacks in ecosystem state change in drylands. *Ecohydrology* 5(2):174-183.
- UNCCD (1997). *United Nation Convention to Combat Desertification. The Interim secretariat for the Convention to Combat Desertification (CCD)*. Geneva, Switzerland.
- van Emden, H.F. (1965). The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Sci. Hortic.* 17:121-36.
- van Emden, H.F. (1990). Plant diversity and natural enemy efficiency in agroecosystems. In: M. Mackauer, L.E. Ehler, and J. Roland, (eds.), *Critical Issues in Biological Control*. Andover, MA., pp.: 63-80. Intercept. 330 pp.
- Vanmaercke, M., Poesen J., Maetens, W., de Vente, J., and Verstraeten, G. (2011). Sediment yield as a desertification risk indicator. *Science of The Total Environment* 409(9):1715-1725.
- Verner, D. (2012). *Adaptation to a Changing Climate in the Arab Countries: A Case for Adaptation Governance and Leadership in Building Climate*

- Resilience. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12216> License: CC BY 3.0 IGO.
- Wang, S., Bojie, F., Guangyao, G., Yu, L., and Ji, Z. (2013). Responses of soil moisture in different land cover types to rainfall events in a re-vegetation catchment area of the Loess Plateau, China. *Catena* 101:122-128.
- Wang, L., D'Odorico, P.J., Evans, D.J., Eldridge, M.F., McCabe, K.K., and King, E.G. (2012a). Dryland ecohydrology and climate change: Critical issues and technical advances. *Hydrology and Earth System Sciences* 16(8):2585-2603.
- Wang, W., Peng, C., Kneeshaw, D.D., Larocque, G.R., and Zhibin, L. (2012b). Drought-induced tree mortality: Ecological consequences, causes, and modeling. *Environmental Reviews* 20(2):109-121.
- Whitehouse, M.E., Shochat, E., Shachak, M., and Lubin, Y. (2002). The influence of scale and patchiness on spider diversity in a semi-arid environment. *Ecography* 25(4):395-404.
- Wilby, A., and Shachak, M. (2000). Harvester ant response to spatial and temporal heterogeneity in seed availability: Pattern in the process of granivory. *Oecologia* 125(4):495-503.
- Woodward, G., Brown, L.Z., Edwards, F.K., Hudson, L.N., Milner, A.M., Reuman, D.C., and Ledger, M.C. (2012). Climate change impacts in multispecies systems: Drought alters food web size structure in a field experiment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367(1605):2990-2997.
- Wright, J.P., Jones, C.G., Boeken, B., and Shachak, M. (2006). Predictability of ecosystem engineering effects on species richness across environmental variability and spatial scales. *Journal of Ecology* 94:815-824.
- Yair, A. (2013). Complex Geo-Ecological Responses along a Rainfall Gradient in a Sandy Arid Area: Northern Negev desert, Israel. GSA Annual Meeting in Denver.
- Yelenik, S.G., and Levine, J.M. (2010) Native shrub reestablishment in exotic annual grasslands: Do ecosystem processes recover? *Ecological Applications* 20(3):716-727.
- Zaady, E., and Shachak, M. (1994). Microphytic soil crust and ecosystem leakage in the Negev desert. *American Journal of Botany* 81:109.
- Zaady, E., Groffman, P.M., and Shachak, M. (1996a). Litter as a regulator of N and C dynamics in macrophytic patches in Negev desert soils. *Soil Biology and Biochemistry* 28(1):39-46.
- Zaady, E., Groffman, P.M., and Shachak, M. (1996b). Release and consumption of nitrogen by snail feces in Negev desert soils. *Biology and Fertility of Soils* 23(4):399-404.
- Zaady, E., Groffman, P.M., and Shachak, M. (1998). Nitrogen fixation in macro-and microphytic patches in the Negev desert. *Soil Biology and Biochemistry* 30(4):449-454.
- Zaady, E., Groffman, P.M., Shachak, M., and Wilby, A. (2003). Consumption and release of nitrogen by the harvester termite in the northern Negev desert, Israel. *Soil Biology and Biochemistry* 35(10):1299-1303.
- Zaady, E., Levacov, R., and Shachak, M. (2004). Application of the herbicide, Simazine, and its effect on soil surface parameters and vegetation in a patchy desert landscape. *Arid Land Research and Management* 18(4):397-410.
- 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.
- Zhang, J., Lihong, F., and Min, L. (2014). Functional diversity in plant communities: Theory and analysis methods. *African Journal of Biotechnology* 11(5):1014-1022.



קרן קימת לישראל
K K L - J N F

ISBN 978-965-90438-6-6



9 789659 043866