



כתב-עת
לניהול יערות
ושטחים פתוחים

יער

גיליון 24 | יוני 2023 | תמוז תשפ"ג



גיליון מיוחד בנושא
ניטור ומחקר ארוכי טווח



תוכן עניינים

77	ניטור ארוך טווח של מרעה עשבוני בחוות כרי דשא וממשק גידול בקר בישראל זלמן הנקין, נטע גולדנברג אגיון, חיים גורליק, גיא דוברת	3	בפתח הגיליון יפעת עובדיה-לוסקי
86	פיקוס השדרות בישראל: עבר, הווה ועתיד צביקה מנדל, אלכסי פרוטסוב, אביגיל הלה, חיים גבריאל	4	משולחנו של מנהל אגף הייעור גלעד אוסטרובסקי
	מן השטח		מאמרי סקירה
93	ניטור המגוון הביולוגי ברשות הטבע והגנים ככלי לשמירת טבע יהושע שקדי, אורי פריד, עופר שטייניץ, נעם לידר	5	מחקר אקולוגי ארוך טווח: התפתחות, מגמות והישגים בעולם, באירופה ובישראל משה שחק, שילי דור-חיים
99	נטיעת עצים ושיחים למרעה דבורים בישראל ארנון דג	13	מחקר סוציו-אקולוגי ארוך טווח – הגרסה הישראלית דניאל אורנשטיין, נועה אבריאל-אבני, ליאת הדר, ג'סיקה שנקרמן, רונית כהן-ספר
105	המצפור הגדול ביער שווייץ עדי קליגר	22	הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור שיטים באגני משנה של נחל שיטה רחל ארמוזה-זבולוני, אתי עבאדי, ינאי שלומי, חנן גינת, ניצן שגב, רחמים שם טוב
106	יער של ספרים	33	היעילות האקו-הידרולוגית של מערכות קציר נגר לאורך מדרונות באזור צחיח למחצה בטווח הקצר והארוך אלי ארגמן, נתנאל בורו, עידית טיקוצקי, אילן סתוי
108	המצאת הטבע גלעד אוסטרובסקי	44	שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות ומוגבלות מים בתחנת מחקר ארוך טווח פארק סירת שקד שילי דור-חיים, דוד ברנד, יצחק משה, משה שחק
111	אז והיום	51	יער יתיר: בחינה של השפעת צפיפות העומד וניהול הרעייה על תפקודו של יער מחטני על סף המדבר יעל גרונולד, אלה פוזנר, איל רוטנברג, דן יקיר, תמיר קליין
112	נחל גוברין – שיקום רצועת נחל וניטור מפלס המים גיל סיאקי, לאו וולין, נדב אמיר	59	יער הקדושים – אתר למחקר אקולוגי ארוך טווח ביער נטע-אדם מחטני: ממשק עומדים בוגרים לעיצוב יער העתיד יגיל אסם, אלה זנגי, מור אשכנזי, אילון כלב, אורי מאירוביץ, רוני טל, מאיה מילאת, יוסי משה, חוסיין מוקלדה, משה צוקרמן, ג'מאל דוויאת, ז'וזה גרינצוויג, חנוך צורף
III	עצים ששווה להכיר	67	מבט אבולוציוני על 20 שנות ניטור ארוך טווח ברמת הנדיב ליאת הדר, אבי פרבולוצקי
	עצי שיזף בתל חדיד אמיר הרמס		
	שיחה עם		
	שימור קרקע ביערות קק"ל – ריצה למרחקים ארוכים: שיחה עם חיים סהר עדי נוי איוניר		
	תקצירים באנגלית		



יער

כתב-עת
לניהול יערות
ושטחים פתוחים

גיליון 24 | יוני 2023 | תמוז תשפ"ג

עורכת:

ד"ר ענת מדמוני

ועדת העורכים:

ד"ר גלעד אוסטרובסקי

ד"ר ענת מדמוני

ד"ר שני רוהטין

חברי המערכת:

ד"ר גלעד אוסטרובסקי

פרופ' דניאל אורנשטיין

ד"ר יגיל אסם

ד"ר עמרי בונה

פרופ' מני בן-חור

ד"ר ארז ברקאי

ד"ר רקפת דוד-שורץ

אביגיל הלר

פרופ' דן יקיר

פרופ' צביקה מנדל

ד"ר דורון מרקל

עדי נוי איוניר

ד"ר מיכאל ספרינצין

ד"ר אורית סקוטלסקי

ד"ר עידן קופלר

ד"ר תמיר קליין

אסף קרואני

ד"ר שני רוהטין

פרופ' יוסי ריוב

אורי רמון

ד"ר אפרת שפר

עריכת לשון ותוכן:

ענבר קמחי-אנגרט

תרגום לאנגלית:

ד"ר אסתר לחמן

עיצוב גרפי:

אורית ישעיהו

כתובת המערכת:

"יער"

קרן קימת לישראל

Yaar.magazine@kkl.org.il

הוצאה לאור:

קרן קימת לישראל

מנהל פיתוח הקרקע

אגף הייעור

היחידה לפרסומים, קשרי ציבור

© כל הזכויות שמורות

ISSN

2957-7403 (בדפוס)

2957-739X (באינטרנט)

אתר כתב העת "יער באינטרנט"

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

אתר קק"ל באינטרנט

www.kkl.org.il

לפרטים ולהרשמה לאירועים ביערות ובאתרי קק"ל:

קו ליער: 1-800-350-550

כריכה קדמית:

חלקות הניסוי ביער הקדושים שבוצעו בהן טיפולי דילול. הריבועים השחורים מסמנים את גבולות החלקה (70X70 מטר), והריבועים הקטנים בכל חלקה מסמנים את שטח הניטור (40X40 מטר). תצלום אוויר: חברת איקרוס, אוגוסט 2010

כריכה אחורית:

סקר צמחיית תת-היער בתחנת יער הקדושים. המחקר עוקב אחר המגוון וההרכב של צמחיית תת-היער בהשפעת טיפולי דילול לעצי אורן ירושלים בגרים נטועים משנת 2009 ועד היום. צילום: יגיל אסם, אפריל 2009



בפתח הגיליון

אתכם הקוראים, ובכל פעם שתבקרו ביערות, לבילוי, לנופש, לספורט או לטיול, מבטכם יתרחב, והקשר ליער יהיה משמעותי יותר.

זה המקום להודות לכל עובדי היער המסורים שבזכותם יש בישראל מרחבי יער הפתוחים לציבור ומשמשים כר פורה לפעילות חברתית ותרבותית לכולם.

ועוד מילה אישית, זה עתה חגגנו 75 שנות עצמאות למדינת ישראל. מראשית הציונות פעלה קק"ל למען פיתוחה של מדינת ישראל בהיבטים רבים. הפעילות הרחבה והמושקעת שלנו בתחום הייעור היא משימה ציונית לכל דבר ועניין. ארץ ישראל תהיה יפה, פורחת ומשגשגת בזכות הפעילות הענפה שלנו, ואני רואה בכך ערך עליון וגאוזה גדולה.

קריאה נעימה,

יפעת עובדיה-לוסקי
יושבת ראש קק"ל

הגיליון הנוכחי של 'יער' עוסק בניטור ארוך טווח, ובכך הוא מבטא את השקפת קק"ל, הרואה בניהול היערות משימה מתמשכת המבוססת על מחקר מעמיק ועל מחשבה לעתיד. קק"ל מנהלת זה שנים חמש תחנות מחקר ארוך טווח, שמספקות עבורנו נתונים ומידע המהווים בסיס להנחיות הממשק לשימור היער ולטיפוחו.

תחנות המחקר משמשות בסיס למגוון מחקרים אקדמיים בתחום היער והשטחים הפתוחים, והן חלק מרשת בין-לאומית בתחום זה. זה המקום להזכיר שקק"ל מקצה משאבים משמעותיים למחקר יערני מדי שנה, ובמת מחקרי יער היא מוסד מכובד ובעל מוניטין בנוף המחקר הישראלי שעוסק בניהול שטחים פתוחים, באקולוגיה ובסביבה.

הגיליון מספק הצצה לנושאים שאינם מוכרים לציבור הרחב, ומאפשר לכולם להכיר את "מאחורי הקלעים" של העבודה היערנית. אני מקווה שקריאה בגיליון תעשיר

משולחנו של מנהל אגף הייעור

התפתחות הצומח העשבוני והמעוצה. החוקר המוביל: ד"ר אלי ארגמן.

תחנת יער יתיר הוקמה בשנת 2000 על ידי פרופ' דן יקיר. מטרת התחנה הן לבחון את השפעות ממשק היער באקלים צחיח למחצה על התפתחות היער המחטני וחיוניותו וכן לערוך מחקרים העוסקים ברעייה, בצפיפות היער ובתהליכי התחדשות הצומח. החוקר המוביל: ד"ר תמיר קליין.

תחנת נחל שיטה הוקמה בשנת 2015 ונמצאת מצפון לקיבוץ יהל. בתחנה נחקרים התפקוד והחיוניות של המערכת האקולוגית באזור צחיח קיצוני, בדגש על משק המים ועל התפתחות עצי השיטה והמגוון הביולוגי. החוקרת המובילה: ד"ר ניצן שגב.

הגיליון הנושאי שלפניכם מרחיב את היריעה ומציג מחקרים וסיכומים מתחנות ניטור ארוך טווח נוספות: ליאת הדר כותבת על התחנה ברמת הנדיב על מגוון תצורות הצומח בה, גיא דוברת מספר על תחנת כרי דשא שיש בה צומח עשבוני ים תיכוני עם ממשקים שונים של רעיית בקר, ויהושע שקדי מציג סקירה של ניטור ארוך טווח ברשות הטבע והגנים. שילי דור-חיים ומשה שחק מצביעים על מגמות בניטור ובמחקר ועל הקשר בין מערכות המחקר המקומיות שלנו לרשת הבין-לאומית, ודניאל אורנשטיין מוסיף נדבך על הגרסה הישראלית למחקר סוציו-אקולוגי ארוך טווח.

אני אסיר תודה לחוקרים ולכותבים שהולכים איתנו כברת דרך נכבדה, ונענו ברצון לכתוב לגיליון ולהשתתף בעיצובו. במהלך איסוף החומר הופתענו לטובה מהיקף החומר שהתקבל, ונוכחנו שהמקום צר מלהכיל. החלטנו אפוא להקדיש גם את הגיליון הבא לנושא הניטור ארוך הטווח, והוא יהווה המשך והשלמה לגיליון זה.

קריאה נעימה,



גלעד אוסטרובסקי

היערן הראשי ומנהל אגף הייעור

הגיליון שלפניכם הוא גיליון מיוחד. הוא מוקדש לנושא מחקר וניטור ארוכי טווח, תחום שלא רבים מכירים מקרוב, אך הוא בעל חשיבות מכרעת ביכולת שלנו להבין את המערכת היערנית ולתכנן את הממשק בראייה רב שנתית ארוכת טווח. הצורך בהבנת הדינמיקה הוכר בקק"ל זה מכבר, ובמהלך שלושת העשורים האחרונים הוקמו חמש תחנות לניטור ארוך טווח, מיער הקדושים בהרי ירושלים ועד נחל שיטה בערבה הדרומית. ניהול התחנות נמצא באחריות אנשי קק"ל, ועל פעולות הניטור והמחקר מופקדים החוקרים, כך שמתקבל שילוב יפה של בירור שאלות העולות מן השטח עם מחקר שנועד לענות ולקדם את קבלת ההחלטות הממשקיות. אנחנו רואים חשיבות רבה בקיומו של מערך המחקר והניטור ארוכי הטווח, ודואגים להקצות לכך את המשאבים המתאימים. עם חלוף השנים אנחנו מבינים שיש לעשות יותר לעיבוד המידע ולהנגשתו במערך הייעור בקק"ל ובקרב אנשי סביבה ואלה המתעניינים בעולם ניהול השטחים הפתוחים בישראל. הגיליון הנוכחי הוא חלק ממאמץ זה, ואני מקווה שתמצאו בו עניין.

אלה חמש התחנות ביערות קק"ל:

תחנת יער הקדושים, שהוקמה בשנת 2008, נמצאת ביער מחטני ותיק. תחומי הניטור והמחקר בה מגוונים, ומתמקדים בהשפעתן של עוצמות דילול שונות על התפתחות היער ויצרנות הצומח, על המגוון הביולוגי ועל משק המים ויעילותו. תחנת המחקר ביער הקדושים העלתה תרומה חשובה בעדכון "תורת הדילול" של היער המחטני. החוקר המוביל: ד"ר יגיל אסם.

תחנת פארק סיירת שקד הוקמה על ידי פרופ' משה שחק ב-1997, והיא הוותיקה מבין תחנות הניטור. בתחנה פותחו עקרונות הבסיס לממשק קציר נגר ולשימוש בשיחים לנטיעות באזורים צחיחים, וכיום התחנה עוקבת אחר תהליכים בשטח פתוח ללא רעייה ומהווה מודל למעקב אחר מערכת שעברה קריסה ותהליכי שיקום בעקבות שינוי האקלים. החוקרת המובילה: ד"ר שילי דור-חיים.

תחנת יער השגרירים הוקמה בשנת 2008 מצפון לבאר שבע, באגן נחל פטיש ונחל כרכור. מטרת התחנה הן לעקוב אחר השפעות נטיעת עצים במערכות של קציר נגר על שירותי המערכת האקולוגית, על תכונות הקרקע ועל



מחקר אקולוגי ארוך טווח: התפתחות, מגמות והישגים בעולם, באירופה ובישראל

משה שחק^{1*} | שילי דור-חיים^{2,1}

- 1 המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
- 2 מו"פ מדבר וים המלח
- * shachak@bgu.ac.il

תקציר

(eLTER RI), שמבוססת על מחקר ארוך טווח ושילוב מחקר סוציו-אקולוגי, העוסק בחקר האינטראקציות בין אנשים לטבע. רשת LTER ישראל שייכת לרשת LTER אירופה, והוקמה בשנת 1997. הרשת בישראל מונה 13 תחנות מחקר ארוכות טווח וארבעה אזורי מחקר (פלטפורמות) סוציו-אקולוגיים. תחנות LTER בישראל מהוות מוקד משיכה לחוקרים מדיסציפלינות שונות מהארץ ומהעולם, וזאת הודות לידע שנצבר בתחנות שמתמקדות במחקר של מערכות אקולוגיות מוגבלות מים, ובזכות תשתיות וציוד המחקר הנמצאים בתחום התחנה. המחקרים בתחנות עוסקים בעיקר בחקר ההשלכות של שינוי האקלים על המערכות האקולוגיות ועל שימושי קרקע.

מחקרים ארוכי טווח הוכיחו שיש להם יתרון בחשיפת מידע, תופעות ותהליכים חדשים שלא נצפו במחקרים קצרי טווח. רשת התחנות למחקר אקולוגי ארוך טווח (LTER – Long Term Ecological Research) הוקמה בשנות ה-80 בארה"ב במטרה לספק לחוקרים אתרי מחקר במערכות אקולוגיות מגוונות ותמיכה בתשתיות המחקר באתרים אלה. בשנות ה-90 הוקמו רשתות LTER לאומיות ב-28 מדינות ברחבי העולם, שהתקבלו רשמית כחברות ברשת LTER העולמית (ILTER). כיום ILTER מורכבת מארבע רשתות (מזרח אסיה; אפריקה; אירופה; אמריקה), ולמעלה מ-1,000 תחנות פועלות במסגרתה ב-45 מדינות שונות. מטרותיה הן לסייע לקהילה הבין-לאומית במניעה ובפתרון של בעיות סביבתיות ובעיות חברתיות-אקולוגיות עכשוויות ועתידיות. ולשפר את ההבנה של מערכות אקולוגיות כלל-עולמיות. רשת LTER אירופה אימצה את מטרות ILTER, והגדירה ארבעה מאפיינים לתחנות: א. מחקר מבוסס אתר (*in-situ*); ב. מחקר המתבסס על טווח זמן ארוך; ג. מחקר בגישה מערכתית הכוללת הצלבת נתונים מדיסציפלינות שונות; ד. חקר של תהליכים המתקיימים במערכת האקולוגית. כיום LTER אירופה מתמקדת בקידום תשתית מחקר אירופית

מילות מפתח

אינטראקציה בין-לאומית, גישה מערכתית, סוציו-אקולוגיה, שינוי האקלים, שינויים בשימושי קרקע, LTER

מבוא

חדשנית למחקר אקולוגי יש ערך רב לקידום האקולוגיה ומדעי הסביבה.

המחשבה מאחורי הקמת רשת מחקר אקולוגי ארוך טווח הייתה לספק לחוקרים אתרי שדה לניסויים במערכות אקולוגיות המייצגות את מגוון בתי הגידול, ולתמוך בתשתיות המחקר באתרים במטרה להגדיל את מסד הנתונים ולהבין את התנהלות המערכות האקולוגיות בטווח הארוך ובתנאי סביבה משתנים. הנחת הבסיס בהקמת אתרי המחקר הייתה שהמהלך יעודד תיאום בין חוקרים מהדיסציפלינות השונות שעובדים בתחנה. מקימי הרשת אף הציבו כמטרה לשפר את התקשורת ושיתוף הפעולה בין חוקרים ובין אנשי הממשק והציבור הרחב וזאת דרך הנחלת ידע על תהליכים קצרי וארוכי טווח במערכות אקולוגיות.

מקימי רשת LTER התבססו על כך שעד להקמת הרשת: א. ניסויים אקולוגיים נערכו מתוך הכרה מועטה בשונות הבין-שנתית הגבוהה במערכות אקולוגיות; ב. מגמות ארוכות טווח לא נטרו באופן שיטתי במערכות אקולוגיות, ועל כן לא היה ניתן להבחין בין שינויים חד-כיווניים לבין שונות מחזורית; ג. לא הייתה רשת מתואמת של אתרי מחקר אקולוגיים, והדבר עיכב את המחקר ההשוואתי בין מערכות אקולוגיות שונות; ד. מחקר אקולוגי נעשה לעיתים קרובות רק על רכיב נבחר של המערכת (מינים נבחרים של צמחים, בעלי חיים וחיידקים), ונתונים משולבים או מערכתיים לא היו זמינים באתרי המחקר. כדי לסייע בהוצאת הרעיון לפועל נקבעו במהלך שנות ה-80 קווים מנחים לקביעת המשתנים למדידות אקולוגיות ארוכות טווח, לאופן ניתוחם ולדרך לבנות בעזרתם מודלים של מבנה ותפקוד של מערכות אקולוגיות. הקווים המנחים נוסחו כדי להבטיח השתתפות מגוונת של כל תתי-הדיסציפלינות האקולוגיות, כלומר: אקולוגיה של אוכלוסיות, חברות, מערכות אקולוגיות ואקולוגיה של הנוף. אף על פי שרשת LTER מתבססת על שיתוף פעולה בין חוקרים מתת-דיסציפלינות, היא תוכננה גם לספק הזדמנויות מחקר לחוקרים בודדים.

רשת LTER ארה"ב

התוצר המדעי של רשת LTER בארה"ב הוא העשיר ביותר עד כה, והוא נסקר ומשמש במאמרי מפתח (Callahan, 1984; Magnuson, 1990; Swanson and Spark, 1990; Franklin et al., 1990; Hobbie et al., 2003) וכן במספר גדל והולך של ספרים המתייחסים לאוסף מחקרי סינתזה של אתרי LTER ספציפיים (LTER Network, n.d.). נוסף על הישגיה המדעיים, הוכרה תוכנית LTER ארה"ב כמובילה בהיבטים של ניהול מידע בזכות תפקידה המרכזי ביצירת שיתוף פעולה בין חוקרים וסינתזה של תוצאות בתוך רשת האתרים (Hobbie et al., 2003).

אקולוגים מודעים זה מכבר ליתרונות שיש לתצפיות ולניטור במשך פרקי זמן ארוכים ולניתוח התוצאות שהתקבלו מהם, והיתרונות הללו הובילו להתפתחות מחקרים אקולוגיים ארוכי טווח. למרות ההכרה בחשיבותם של מחקרים ארוכי טווח התקשו האקולוגים בארה"ב בהקמת מערכת שתומכת במחקרים מסוג זה. כפתרון ביניים להבנת תהליכים כאלה חיברו האקולוגים רצף של פרויקטים קצרי טווח או ניתוח נתונים מניטור ארוך טווח שביצעו גופי ממשק שמתמחים בניהול שטחים פתוחים. פתרונות ביניים אלה קידמו את הבנת החשיבות של מחקר ארוך טווח. למרות זאת, האקולוגים לא היו מסוגלים להתמודד עם דינמיקת המערכות האקולוגיות בטווחים של עשרות שנים במגוון המערכות האקולוגיות בביוספירה.

מחקרים חלוציים שנעשו בצורה כזו עסקו באגם וושינגטון בארה"ב וכן במקומות שונים באירופה, והתמקדו בעיקר בקשר שבין המגוון הביולוגי ותפקוד המערכות האקולוגיות (Likens et al., 1977; Edmondson, 1991; Loreau et al., 2001). המחקר המפורט והמצוטט ביותר בתחום הוא מחקר השוואתי ארוך טווח, שבדק את הקשר שבין המגוון הביולוגי ותפקוד המערכת האקולוגית במערכות עשבוניות ברחבי אירופה (Hector et al., 2001). במאמרים מדעיים רבים הוכח שמחקרים בסקאלות זמן ממושכות חושפים מידע, תופעות ותהליכים חדשים שלא נצפו במחקרים קצרי טווח.

הבסיס העיוני למחקר אקולוגי ארוך טווח התפתח גם מתוך מחקרי עבר של מערכות אקולוגיות (Forbes, 1887; Tansley, 1935; Lindeman, 1942) ומתרחב של תוכניות בין-תחומיות בסקאלות גדולות, כגון סקרי עופות ברחבי ארה"ב וניטור ומחקר של השפעות אטמוספיריות על מערכות אקולוגיות של יער ואגמים (Gosz et al., 2010). התוכנית הביולוגית הבין-לאומית שהתמקדה בחקר הפוריות והמגוון של מערכות אקולוגיות תרמה משמעותית להתפתחות ה-LTER. בתוכנית זו נחקרו בפעם הראשונה כל הנופיות (biomes) המרכזיות של כדור הארץ, החל בקטבים וכלה באזורים הטרופיים, במטרה לפתח מודל מבוסס מחשב של המבנה והתפקוד של מערכות אקולוגיות. המחקר נערך לפי פרוטוקול אחיד, שכלל ניטור של ביומסה וייצור ראשוני ושינוי (Aronova et al., 2010).

מחקר אקולוגי ארוך טווח הפך ישים כאשר הוקמה רשת של תחנות כחלק מתוכנית של הקרן הלאומית למדע (NSF) בארה"ב, שראתה בהקמת רשת תחנות למחקר אקולוגי ארוך טווח (LTER – Long Term Ecological Research) המשכיות טבעית של המחקרים ארוכי הטווח שנעשו קודם לכן. מייסדי הרשת, ובראשם פרופ' ג'ים גוז (אוניברסיטת ניו מקסיקו, ארה"ב), האמינו כי לגישה המוצעת של רשת

רשת LTER הבין-לאומית

ייסוד הרשת בארה"ב ותפעולה הביאו להבנה שכדי להתמודד עם אתגרי הסביבה אין להסתפק ברשת האמריקאית בלבד, ויש לייסד רשת LTER בין-לאומית. בתמיכת LTER ארה"ב ובאמצעות מאמצי הקרן הלאומית למדע האמריקאית הוקמו בשנות ה-90 רשתות LTER לאומיות ב-28 מדינות ברחבי העולם, שהתקבלו רשמית כחברות ברשת LTER העולמית (International Long-Term Ecological Research - ILTER).

החזון של הרשת העולמית נוסח בהסתמך על הניסיון המצטבר של LTER ארה"ב, כשאיפה לסייע לקהילה הבין-לאומית במניעה ובפתרון של בעיות סביבתיות ובעיות חברתיות-אקולוגיות בעזרת מחקר אקולוגי ארוך טווח בסקאלה הגלובלית. כמו כן, הנהלת ILTER והמאגד (קונסורציום), שמורכב מנציג של כל מדינה חברה ומיו"ר שנבחר על ידי נציגי המאגד, הגדירו שמשימתה העיקרית של הרשת היא לשפר את ההבנה של מערכות אקולוגיות גלובליות ובעקבות זאת לספק פתרונות לבעיות סביבתיות עכשוויות ועתידיות. ILTER היא הארגון היחיד שלרשותו רשת גלובלית של אתרי מחקר, היוצרת רשת עולמית של קבוצות מחקר תחומיות ובין-תחומיות המתמקדות ומשתפות פעולה במחקר ארוך טווח של מערכות אקולוגיות ברחבי העולם, ושתוצרתן המדעית יכולה לסייע בהבנת השינויים הסביבתיים הגלובליים. יתרונה של רשת זו הוא בזיהוי מגמות של שינויים ברמות שונות (הגלובלית, האזורית, הארצית והמקומית), החלים במבנה ובתפקוד של מערכות אקולוגיות בשל הפעילות האנושית. ILTER הוסיפה למשימותיה את הכשרת הדור הבא של מדענים חוקרי סביבה בגישת LTER, המתמקדת במחקרים בסקאלות משתנות של מרחב וזמן ובשיתוף פעולה להבנת בעיות סביבתיות ולהתמודדות איתן תוך שיתוף הנתונים. הנתונים, תוצרי המחקרים והתובנות על תהליכים המתרחשים במערכות האקולוגיות הנחקרות בתחנות ILTER, עומדים לרשות המדענים, קובעי מדיניות והציבור הרחב.

רשת ILTER מורכבת כיום מארבע רשתות (מזרח אסיה; אפריקה; אירופה ואמריקה), ובהן למעלה מ-1,000 אתרים ב-45 מדינות שונות, ומקיימת שיתופי פעולה בין מדענים העוסקים במחקר אקולוגי ארוך טווח.

LTER אירופה – מטרות, חידושים והסתכלות לעתיד

רשת LTER אירופה, המכונה eLTER (ראו אתר [eLTER](#)), מבוססת על העקרונות של LTER ארה"ב, וכן ניסחה את מעמדה באמצעות ארבעה מאפיינים:

1 מחקר מבוסס אתר (*in-situ*): מהמחקרים מפיקים נתונים על המבנה והתפקוד של מערכות אקולוגיות בסקאלה משתנה מרמת האתר ועד רמת האזור. כמו כן, נעשה ניתוח של המערכות האקולוגיות בכל רמות הארגון.

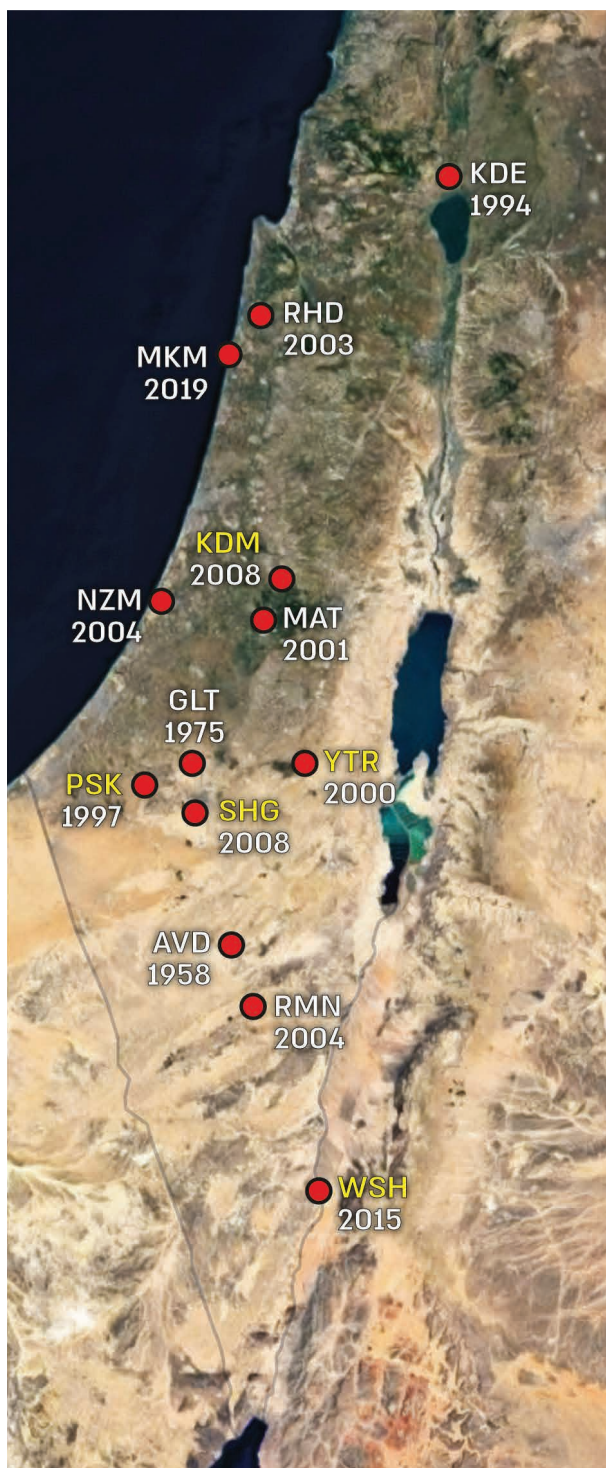
2 מחקר המתבסס על טווח זמן ארוך: במחקר נערכים תיעוד ושימוש במידע אקולוגי בטווח ארוך. במקביל, נבחנים נתונים על השינויים במבנה ובתפקוד של מערכות אקולוגיות בעקבות שינוי האקלים והשינוי בשימושי קרקע. כדי לאפשר זיהוי מגמות ארוכות טווח אופק הזמן של איסוף הנתונים הוא של עשרות שנים.

3 מחקר בגישה מערכתית: רשת LTER אירופה תורמת להבנה טובה יותר של המורכבות של מערכות אקולוגיות טבעיות ומערכות סוציו-אקולוגיות, המכסות את התחום הטבעי והתרבותי ובוחנות את השתנות הסביבה עקב תהליכים טבעיים ואנושיים. שיטות המחקר והניטור באתרי LTER אירופה לקוחות מהדיסציפלינות השונות המסייעות בהבנת המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות, ובהן מדעי החיים, מדעי כדור הארץ ומדעי החברה.

4 חקר של תהליכים: המחקר מבוסס על כימות תהליכים המתרחשים במערכות אקולוגיות ועל יחסי גומלין ביניהם. השאלה המרכזית היא כיצד תהליכים אלה קובעים את המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית ושירותיה. הגישה משלבת מחקר וניטור ארוכי טווח. הנתונים מתייחסים למרכיבים הבינטיים והאביוטיים של בתי גידול ושל מערכות אקולוגיות ברחבי אירופה ולשינויים הסביבתיים והסוציו-אקולוגיים, כגון שינוי האקלים ושינויים בשימושי קרקע.

כל אתרי רשת LTER אירופה מסתמכים על גישת ניתוח המבנה והתפקוד של מערכות אקולוגיות כמערכת שלמה (WAILS – Whole system Approach for *In-situ* Mirtl et al.,) (research on Life Supporting Systems (2021). גישת המערכת השלמה, כלומר הרעיון של ניתוח מערכות אקולוגיות בכלים של ניתוח מערכות, אינו חדש (Odum, 1983). אולם כדי להתאים את הגישה לאתגרים הסביבתיים המרכזיים כיום, שהם התמודדות עם ההשפעות האקולוגיות של שימושי הקרקע ושינוי האקלים, יש לפתח את הכלים לתיאור ולניתוח של המערכת השלמה ולקשרה לבעיות האקטואליות הסביבתיות העכשוויות. כמו כן, יש להתאים את הגישה להתפתחויות חדשות באקולוגיה.

LTER אירופה מתמקדת כיום בקידום תשתית מחקר אירופית, שמבוססת על מחקר ארוך טווח ועל הסתכלות חדשנית על המערכת האקולוגית – ממאגרי המים בקרקע ועד לחופת העצים – תוך שילוב מחקר סוציו-אקולוגי, העוסק בהבנת יחסי הגומלין המורכבות בין אנשים לטבע לאורך זמן. eLTER מספקת לחוקרים גישה ליותר מ-500



איור 1

כריסה ארצית של תחנות המחקר ארוך הטווח בישראל

תחנת כרי דשא (KDE); תחנת שדות ים (MKM); תחנת רמת הנדיב (RHD); תחנת יער הקדושים (KDM); תחנת מטע (MAT); תחנת ניצנים (NZM); תחנת יער יתיר (YTR); תחנת יער השגרירים (SHG); תחנת פארק סירת שקד (PSK); תחנת גילת-מגדה (GLT); תחנת עבדת (AVD); תחנת רמון-גוונים (RMN); תחנת נחל שיטה (WSH). ליד כל תחנה מצוינת שנת הצטרפות לרשת LTER ישראל. תחנות בניהול קק"ל מופיעות בצהוב. מקור: Google Earth, 2005.

אתרים ולכ-50 פלטפורמות (Long Term Socio-) LTSE (Ecological Research eLTER) גדולות יותר ברחבי אירופה, כולל ישראל, המציעות נתונים, שירותים והדרכה. משקיעה מאמצים למציאת פתרונות בני-קיימא לאתגרים החברתיים אקולוגיים הגדולים שניצבים מולנו כיום – שינוי האקלים ושינויים בשימושי קרקע – על ידי מתן ידע וראיות אמפיריות הדרושים לזיהוי ולהפחתה של השפעות אנושיות על מערכות אקולוגיות. המשימה המרכזית של eLTER היא שלמחקרים תהיה השפעה גדולה על ציבור מקבלי ההחלטות, ושהמחקרים יזרזו הגעה לתובנות חדשות לגבי ההשפעות המורכבות שיש לשינוי האקלים, לאובדן המגוון הביולוגי, להתדרדרות תפקודי הקרקע, לזיהום ולשימוש במשאבים שאינם בני-קיימא, על מגוון מערכות אקולוגיות וסוציו-אקולוגיות בכדור הארץ. הסתמכות על התשתית הפיזית המבוזרת והמומחיות המדעית שנצברה ברשת LTER בשילוב עם הגישה הסוציו-אקולוגית לחקר מערכות משולבות טבע ואדם ושיתוף הידע עם בעלי העניין מאפשרים לספק בסיס איתן למתן פתרונות מדיניים וממשקיים מבוססי ידע להתמודדות עם אתגרים סביבתיים עכשוויים ועתידיים.

LTER ישראל – התפתחות, הישגים והסתכלות לעתיד

ישראל משתייכת למסגרת אזורית אירופית, ופועלת בשיתוף פעולה מלא עם המשימות שמציבה LTER אירופה. בדומה להתפתחות רשתות LTER ארה"ב ואירופה, גם LTER ישראל (איור 1; ראו אתר LTER Israel) התפתחה משני פרויקטים ארוכי טווח. הפרויקט הראשון עסק בחקר מערכות אקולוגיות באגני היקוות בהר הנגב (Yair and Shachak, 1982). מחקרי האקולוגיה של אגני היקוות בהר הנגב התמקדו בקשר שבין המגוון הגאולוגי, המגוון הביולוגי ותפקוד המערכת האקולוגית. המחקרים הניחו את מסד המידע לקשרי גשם-נגר (Olsvig-Whittaker et al., 1983), לקשר בין גאומורפולוגיה לתפקודי צמחים ובעלי חיים (Yair and Shachak, 1987) ולחשיבות מהנדסי הסביבה בעיצוב הנוף (Jones et al., 1997). כמו כן, המחקרים הללו תרמו לגיבוש קבוצות בין-תחומיות ששילבו מטאורולוגיה, גאומורפולוגיה, חקר הקרקע, ביולוגיה ואקולוגיה. כל אלה יצרו את התשתית למחקר בין-תחומי במערכות אקולוגיות מוגבלות מים.

הפרויקט השני הוא פרויקט הסוואניזציה שהתבסס על שתי תחנות מחקר בצפון הנגב: פארק סירת שקד ותחנת להבים. מטרת הפרויקט הייתה לחקור את תהליכי המדבור ולאתר דרכים לשיקום תפקודי של מערכות ממודברות (Shachak et al., 1998). בפרויקט הסוואניזציה השתמשו

הישגי LTER ישראל – סיכום ביניים

אתרי LTER בארץ נוסדו במטרה לחקור נושאים ספציפיים בהתאם למטרות המוסד המפעיל את התחנה (ראו מאמרים המופיעים בחוברת זו). למרות זאת, בשלושה תחומים רשת LTER ישראל תורמת לקידום האקולוגיה התאורטית והשימושית כמסד להתמודדות עם בעיות סביבתיות בישראל: א. פיתוח מסגרת עיונית למחקר מבוסס אתרים ורשת; ב. חקר ההשלכות האקולוגיות של שינוי האקלים; ג. חקר ההשלכות האקולוגיות של שינויים בשימושי קרקע.

א. קידום התורה האקולוגית

מכיוון שישראל היא חלק מרשת LTER אירופה, היא מסייעת בפיתוח ובקידום של מסגרת גישת המערכת השלמה, שתוארה לעיל. ב-LTER ישראל פותחה גישה המתארת את המבנה והתפקוד של מערכות אקולוגיות כרשת (network) של קשרים (Dor-Haim et al., 2019). גישה זו מרחיבה את גישת המערכת האקולוגית השלמה, ומשלבת את המבנה והתפקוד של המרכיבים הפיזיים, הביולוגיים והחברתיים במערכות אקולוגיות.

המודל העיוני של LTER ישראל מפתח את הגישה של המערכת האקולוגית השלמה ומצרפה למסגרת הסוציו-אקולוגית, וכך יוצר חיבור של המגוון הפיזי והביולוגי למגוון של החברה האנושית (social-diversity) כדי להבין את תפקוד המערכות האקולוגיות בתקופה שהאדם הוא הגורם המשפיע הדומיננטי על כדור הארץ (Shachak et al., in preparation). מסגרת עיונית נוספת שפותחה לתיאור הגורמים המווסתים את המבנה והתפקוד של המערכת השלמה היא חקר ההתארגנות העצמית (self-organization) של המערכות האקולוגיות תוך התמקדות ביצירת תבניות צומח. התבניות מתארות את מערך הצומח במרחב שנוצר בשל אינטראקציות בין הצמחים לבין עצמם וכן עם סביבתם הפיזית (Meron, 2015). במסגרת זו פותחו מודלים מתמטיים של יצירת תבניות צמחייה במרחב המודלים מסייעים בזיהוי הקשר שבין תבניות הצומח לעיצוב הנוף, והשפעתו של הנוף על היצרנות והמגוון הביולוגי (Gilad et al., 2007; Shachak et al., 2008).

הפעילות של LTER ישראל נמשכת כרשת לפיתוח גישת המערכת השלמה על ידי שילוב הפרדיגמה של פעימה-עתודה (Pulse-Reserve). פרדיגמת פעימה-עתודה טוענת שמערכות אקולוגיות מוגבלות מים מונעות על ידי פעימות של גשם ונגר המותמרות לפעימות של לחות קרקע. פעימות המים בקרקע מפעילות פעימות של תפקודיות (יצרנות ופירוק) במערכת האקולוגית. לאחר שבעלי החיים והצומח מנצלים את פעימות המים, המערכת מייצרת מאגרים של משאבים וגופי רבייה, שישמשו עתודות שיופיעו על ידי פעימות הגשם בעונת החורף הבאה (Noy-Meir, 1974).

במערכות קציר-נגר כדי ליצור מערכת אקולוגית חדשנית דמוית סוואנה, המאופיינת ברשת לא צפופה של עצים שביניהם מערכת אקולוגית טבעית של עשבונים ושיחים. מחקרי פרויקט הסוואניזציה הובילו לבניית מודל של תהליכי מדבור שמבוססים על התפתחות מערכת שיחנית, שמשמרת משאבים. פעילות האדם ותנאי אקלים משתנים מביאים להרס השיחים ולהרס תפקודם כמהנדס סביבה המשמר משאבים (Dor-Haim et al., 2023), וכן מאמר על תחנת פארק סיירת שקד בגיליון זה). פרויקט זה הביא בעקבותיו להרחבת רשת תחנות LTER ולהקמת תחנות נוספות (ראו בגיליון זה מאמרים העוסקים בתחנות נחל שיטה, יער השגרירים, יער יתיר, יער הקדושים, רמת הנדיב וכרי דשא). פרויקט נוסף שנתן דחיפה חשובה להתפתחות LTER כרשת בישראל היה פרויקט שבחן את תפקוד הצמחים המעוצים כמעצבי סביבה ואת השפעתם על המגוון הביולוגי. הפרויקט קישר מחקרית חמש תחנות לאורך מפל הגשם בישראל (Shachak et al., 2008).

כיום רשת LTER ישראל מונה 13 תחנות מחקר ארוכות טווח שעוסקות במחקר בין-תחומי, וארבע פלטפורמות LTSE שנערכים בהן מחקרים סוציו-אקולוגיים, המשלבים היבטים של כלכלה, חברה, תרבות ופרספקטיבה אנושית בכלל (ראו מאמרם של אורנשטיין ושות' בגיליון זה). הפלטפורמות מאפשרות הערכות ותחזיות על שינויים במבנה, בתפקוד ובדינמיקה של מערכות אקולוגיות ושירותיהן בעקבות יחסי גומלין בין האדם לסביבה.

תחנות LTER ישראל מהוות מוקד משיכה לחוקרים מדיסציפלינות שונות הודות לידע שנצבר בהן בשל התמקדותן במחקר של מערכות אקולוגיות מוגבלות מים, והודות לתשתיות ולציוד המחקר הנמצאים בתחום התחנה. כמו כן, עבודה בתחנה מסודרת שבראשה עומד ראש תחנה שרואה באופן כולל את המתרחש בה, מאפשרת חיבורים ייחודיים בין חוקרים מתחומי ידע שונים. הידע שנצבר בתחנות והקשרים ההדוקים בין החוקרים לקובעי המדיניות הובילו לקידום המחקר מחד גיסא, וליכולת לתת מענה לשאלות מרכזיות בניהול שטחים פתוחים מאידך גיסא. למשל, כיצד יש לנהל את השטח כדי שיתפקד אקולוגית ולא ידורדר? בתחנות מתמודדים עם השלכות ממשקיות וניהוליות שיש לשינוי בשימושי קרקע או לשינוי האקלים על המערכות האקולוגיות ועל השטחים הפתוחים. נוסף על כך, המחקרים ארוכי הטווח המבוצעים על המפל האקלימי של מדינת ישראל מאפשרים לחוקרים לספק תובנות ממשקיות ולתת המלצות לניהול השטחים הפתוחים.

רשת LTER ישראל שואפת להיות משאב לאומי, כדי שיהיה ניתן להתמודד עם השאלות המרכזיות שניצבות בפנינו כיום בנושא השטחים הפתוחים.

של שינוי האקלים על מערכות אקולוגיות שונות. מחקרי השפעת שינוי האקלים בשלוש התחנות הללו מכסים שלוש מערכות אקולוגיות בקבוצות תפקודיות שונות של צמחים: עשבונים (תחנת מטע) שיחים (תחנת פארק סירת שקד) ועצים (תחנת יער יתיר). קבוצות אלה מייצגות את שלושת המרכיבים התפקודיים של הצומח במערכות האקולוגיות בישראל.

ג. חקר ההשלכות האקולוגיות של שינויים בשימושי קרקע
 LTER ישראל מתמקדת במגוון שימושי קרקע – שימושים לשמירת טבע, פארקים, ייעור, מערכות חקלאות ומרעה. בדרך זו LTER ישראל "מכסה" את רוב מערכת שימושי הקרקע בישראל, למעט מערכות עירוניות. בכל המחקרים העוסקים בשימושי הקרקע LTER ישראל מתמקדת בחקר ההשפעות של שימושי הקרקע (רעייה, סחיפת קרקע וחקלאות) על המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות. בתחנת רמון מתמקדים בשימור התנאים של מערכת צחיחה קיצונית במסגרת חקר שימושי קרקע לצורכי שימור, ובתחנת ניצנים נחקר שימור המבנה והתפקוד של מערכות אקולוגיות טבעיות בדינות חול (Bar, 2013). בתחנת עבדת חוקרים את מורשת החקלאות הקדומה ואת השפעתה על התפתחות מערכות אקולוגיות חדשניות, שנוצרו בעקבות אינטראקציה בין האדם והטבע, ולא היו קיימות קודם לכן (Dor-Haim, submitted); בתחנות יער יתיר ויער הקדושים מתמקדים בייעור, והדגש מושם על הקיימות של מערכות נטע אדם בתנאי אקלים משתנים (Rotenberg and Yakir, 2022; Pozner et al., 2010). בתחנת רמת הנדיב חוקרים את המבנה והתפקוד של פארק אקולוגי כמערכת אקולוגית חדשנית המספקת שירותי מערכת אקולוגית (Levin et al., 2013). חקר שימושי קרקע למרעה מתבצע בתחנות מגדה וכרי דשא, והמטרה היא להבין כיצד לייצר מרעית בכמות המרבית האפשרית בצורה מקיימת (Seligman et al., 2017; Divinsky et al., 1981). בתחנות פארק סירת שקד ויער השגורים מתמקדים המחקרים בשיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות שהתדרדרו בעקבות שימושי קרקע, כגון רעייה, סחיפת קרקע וחקלאות (Shachak et al., 1998; Argaman et al., 2022).

לסיכום, רשת LTER ישראל נמצאת בתהליך של פיתוח מחקרי רשת, שהם מחקרים המבוססים על תיאוריה אחת שנבדקים בעת ובעונה אחת במגוון תחנות מחקר. במקביל, אנו מפתחים מסגרת עיונית למחקר של המערכת האקולוגית השלמה. שאיפה עתידית של הרשת היא להקים מרכז סינתזה. המרכז ירכז את הידע הרב שהצטבר בתחנות השונות, יהווה מקור מידע מרכזי בחקר אקולוגי של מערכות שונות בישראל, ויספק ידע מדעי לחינוך ולקהל הרחב לצורכי ממשק אקולוגי מושכל.

האדם משפיע על רוב המערכות האקולוגיות על פני כדור הארץ, ועל כן יש חשיבות מיוחדת לשילוב בין גישת המערכת השלמה, האדם והמערכת האקולוגית. בישראל יש לדבר חשיבות מיוחדת, הואיל ורוב המערכות האקולוגיות בה, כגון מערכות רעייה, מערכות חקלאיות ומערכות חקלאיות של טרסות, נוצרו בעקבות תהליכים ארוכים של יחסי גומלין בין האדם לטבע (Orenstein et al., 2012). רשת LTER ישראל מעורבת בפיתוח מדע הסוציו-אקולוגיה, המשלב בין האדם והסביבה במסגרת מושגית אחת (Orenstein et al., 2012; Dick et al., 2018), וזאת לצורך שילוב האדם בגישת המערכת השלמה. מחקר הסוציו-אקולוגיה תורגם במסגרת LTER לפלטפורמות LTSE (Mirtl et al., 2018).

ב. חקר ההשלכות של שינוי האקלים על המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות

אתגר מרכזי הוא לזהות את השינויים במבנה ובתפקוד של מערכות אקולוגיות בעקבות שינוי האקלים. בשלושה אתרי LTER בישראל נחקר הקשר בין שינוי האקלים למערכות האקולוגיות: תחנות פארק סירת שקד, מטע ויתיר. בין היתר, המחקר עוסק בתבנית הגשם, בשינוי טמפרטורה וגלי חום, ובתהליכים של ייצור ראשוני ושל משק המים המשפיעים על המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית. מערכת הניסוי בתחנת מטע מתמקדת במניפולציות בקלט הגשם על ידי השקיה והדמיית בצורת מצד אחד ועוצמות גשם גבוהות מצד שני, ובוחנת את ההשפעות של המניפולציות על מרכיבי המערכת האקולוגית ועל יחסי הגומלין ביניהם. כלומר, נחקרת ההשפעה של פעימות גשם בכמויות שונות על היצרנות והמגוון של צמחים עשבונים חד-שנתיים ועל עתודות ביוטיות (בנק זרעים) וא-ביוטיות (נוטריינטים) בקרקע (Alon and Sternberg, 2019; DeMalach et al., 2021). בתחנת יער יתיר מתמקדים בהשפעת שינוי האקלים על יער נטוע באזור יובשני למחצה ברמת העץ וברמת היער כמערכת. ברמת העץ נבחנת התגובה הפיזיולוגית של עצי היער לשינוי האקלים ולתנאי אקלים קיצוניים (Klein, 2014). ברמת היער נבחנות השפעות אקלימיות (למשל שינוי במשטר הגשם ובטמפרטורה) על שטפים במערכת האקולוגית (למשל, שטפי פחמן ומים) המצביעים על שינויים בתפקודי היער כמערכת (Qubaja et al., 2020). בתחנת פארק סירת שקד נחקרת ההשפעה של בצורות על המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית ברמת אגן ההיקוות, והמחקר מתמקד בהבנת תהליך הקריסה, השיקום וההשתקמות של המערכת לאחר תדירות גבוהה של שנות בצורת (Paz-Kagan et al., 2014; Stavi et al., 2021a; Stavi et al., 2021b). תחנות LTER ישראל תורמות להבנת מגוון ההשפעות

- Hobbie JE, Carpenter SR, Grimm NB, Gosz JR, and Seastedt TR. 2003. The US long term ecological research program. *BioScience*, 53, 21–32.
- Jones CG, Lawton JH, and Shachak M. 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78(7), 1946–1957.
- Klein T, Hoch G, Yakir D, and Körner C. 2014. Drought stress, growth and nonstructural carbohydrate dynamics of pine trees in a semi-arid forest. *Tree Physiology*, 34(9), 981–992.
- Levin N, Watson JE, Joseph LN, Grantham HS, Hadar L, Apel N, et al. 2013. A framework for systematic conservation planning and management of Mediterranean landscapes. *Biological Conservation*, 158, 371–383.
- Pozner E, Bar-On P, Livne-Luzon S, Moran U, Tsamir-Rimon M, Dener E, et al. 2022. A hidden mechanism of forest loss under climate change: The role of drought in eliminating forest regeneration at the edge of its distribution. *Forest Ecology and Management*, 506, 119966.
- Loreau M and Hector A. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412(6842), 72–76.
- Likens GE, Borman FH, Pierce RS, Eaton JS, and Johnson NM. 1977. *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. New York: Springer.
- Lindeman RL. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 23, 399–418.
- ILTER Israel. n.d. Israeli Long-Term Ecological Research Network. <https://lter-israel.org.il>
- ILTER Network. n.d. LTER Publications Committee. NSF. <https://lternet.edu/committees/publications>
- Magnuson JJ. 1990. Long-term ecological research and the invisible present. *BioScience*, 40, 495–501.
- Meron E. 2015. *Nonlinear Physics of Ecosystems*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mirtl M, Borer ET, Djukic I, Forsius M, Haubold H, Hugo W, et al. 2018. Genesis, goals and achievements of long-term ecological research at the global scale: A critical review of ILTER and future directions. *Science of the Total Environment*, 626, 1439–1462.
- Mirtl M, Kuhn I, Montheith D, Bäck J, Orenstein D, Provenzale A, et al. 2021. Whole System Approach for in-situ research on Life Supporting Systems in the Anthropocene (WALLS). In: *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-16425).
- Noy-Meir I. 1974. Desert ecosystems: Higher trophic levels. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 195–214.
- Odum HT. 1983. *Systems Ecology; An Introduction*. United States: Web.
- Olsvig-Whittaker L, Shachak M, and Yair A. 1983. Vegetation patterns related to environmental factors in a Negev Desert watershed. *Vegetatio*, 54(3), 153–165.
- Orenstein DE, Groner E, Argaman E, Boeken B, Preisler Y, Shachak M, et al. 2012. An ecosystem services inventory: Lessons from the northern Negev long-term social ecological research (LTSER) platform. *Geography Research Forum*, 32(2012), 96–118.
- Paz-Kagan T, Panov N, Shachak M, Zaady E, and Karnieli A. 2014. Structural changes of desertified and managed shrubland landscapes in response to drought: Spectral, spatial and temporal analyses. *Remote Sensing*, 6(9), 8134–8164.
- Qubaja R, Grünzweig JM, Rotenberg E, and Yakir D. 2020. Evidence for large carbon sink and long residence time in semiarid forests based on 15 year flux and inventory records. *Global Change Biology*, 26(3), 1626–1637.
- Rotenberg E and Yakir D. 2010. Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327(5964), 451–454.
- Seligman NG, Benjamin RW, and Eyal E. 1981. Migda system 1 (MIGS 1): A model for studying management systems of an integrated sheep-wheat farm in the semi-arid zone of Israel. *Special Publication-Agricultural Research Organization (Israel)*. no. 207.
- Alon M and Sternberg M. 2019. Effects of extreme drought on primary production, species composition and species diversity of a Mediterranean annual plant community. *Journal of Vegetation Science*, 30(6), 1045–1061.
- Argaman E, Borow N, and Stavi I. 2022. Long-term effects of water harvesting systems on soil and vegetation dynamics in a semiarid region, Israel. *17th Plinius Conference on Mediterranean Risks*, Frascati, Rome, Italy, 18–21 Oct 2022. Plinius17–17.
- Aronova E, Baker KS, and Oreskes N. 2010. Big science and big data in biology: From the international geophysical year through the international biological program to the long term ecological research (LTER) network, 1957–present. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 40(2), 183–224.
- Bar P. 2013. Restoration of coastal sand dunes for conservation of biodiversity: The Israeli experience. *Restoration of Coastal Dunes*, 173–185.
- Callahan JT. 1984. Long-term ecological research. *BioScience*, 34, 363–367.
- DeMalach N, Kigel J, and Sternberg M. 2021. The soil seed bank can buffer long-term compositional changes in annual plant communities. *Journal of Ecology*, 109(3), 1275–1283.
- Dick J, Orenstein DE, Holzer JM, Wohner C, Achard AL, Andrews C, et al. 2018. What is socio-ecological research delivering? A literature survey across 25 international LTSER platforms. *Science of the Total Environment*, 622, 1225–1240.
- Divinsky I, Becker N, and Bar P. 2017. Ecosystem service tradeoff between grazing intensity and other services-A case study in Karei-Deshe experimental cattle range in northern Israel. *Ecosystem Services*, 24, 16–27.
- Dor-Haim S, Brand D, Moshe I, and Shachak M. 2023. Functional restoration of desertified, water-limited ecosystems: The Israel desert experience. *Land*, 12(3), 643.
- Dor-Haim S, Groner E, Paz-Kagan T, Ohana-Levi N, and Shachak M. Submitted. The effects of human and biophysical legacies on novel ecosystem development: The ancient agro-terrace system of the Negev as a case study.
- Dor-Haim S, Orenstein DE, and Shachak M. 2019. Web of interactions among diversity approaches to identify ecosystem essential variables: Negev Highlands case study. *Ecosphere*, 10(11), e02906.
- Edmondson WT. 1991. *The Uses of Ecology: Lake Washington and Beyond*. Seattle: University of Washington Press.
- eILTER. n.d. Integrated European Long-Term Ecosystem, critical zone, and socio-ecological Research. <https://elter-ri.eu/>
- Forbes SA. 1887. The lake as a microcosm. *Bulletin of the Peoria Science Association*. Reprinted in the *Illinois Natural History Survey Bulletin*, 15, 537–550.
- Franklin JF, Bledsoe CS, and Callahan JT. 1990. Contributions of the long-term ecological research program. *BioScience*, 40, 509–523.
- Gilad E, von Hardenberg J, Provenzale A, Shachak M, and Meron E. 2007. A mathematical model of plants as ecosystem engineers. *Journal of Theoretical Biology*, 244(4), 680–691.
- Gosz JR, Waide RB, and Magnuson JJ. 2010. Twenty-eight years of the US-LTER program: Experience, results, and research questions. In: Müller F, Baessler C, Schubert H, and Klotz S (Eds). *Long-Term Ecological Research*. Springer, Dordrecht. pp. 59–74
- Hector A, Dobson K, Minns A, Bazeley-White E, and Hartley Lawton J. 2001. Community diversity and invasion resistance: An experimental test in a grassland ecosystem and a review of comparable studies. *Ecological Research*, 16, 819–831

- Stavi I, Zaady E, Gusarov A, and Yizhaq H. 2021b. Dead shrub patches as ecosystem engineers in degraded drylands. *Journal of Geographical Sciences*, 31(8), 1187–1204.
- Swanson FJ and Sparks RE. 1990. Long-term ecological research and the invisible place. *BioScience*, 40, 502–508.
- Tansley AG. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16, 284–307.
- Yair A and Shachak M. 1982. A case study of energy, water and soil flow chains in an arid ecosystem. *Oecologia*, 54(3), 389–397.
- Yair A and Shachak M. 1987. Studies in watershed ecology of an arid area. In: Berkofsky L and Wurtele MG (Eds). *Progress in Desert Research*. Totowa, NJ: Rowman and Littlefield.
- Shachak M, Boeken B, Groner E, Kadmon R, Lubin Y, Meron E, et al. 2008. Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *Bioscience*, 58(3), 209–221.
- Shachak M, Orenstein DE, and Dor-Haim S. In preparation. Linking geo-bio and social diversities: Whole system diversity and ecosystem functions and services in social ecological systems.
- Shachak M, Sachs M, and Moshe I. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475–483.
- Stavi I, Yizhaq H, Szitenberg A, and Zaady E. 2021a. Patch-scale to hillslope-scale geodiversity alleviates susceptibility of dryland ecosystems to climate change: Insights from the Israeli Negev. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 129–137.



חלקת אורנים בתחנת LTER, רמת הנדיב, מרץ 2019
צילום: ידיד לוי



מחקר סוציו-אקולוגי ארוך טווח – הגרסה הישראלית

דניאל אורנשטיין^{1*} | נועה אבריאל-אבני² | ליאת הדר³ | ג'סיקה שנקרמן⁴ | רונית כהן-ספר¹

- 1 הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
 - 2 מו"פ מדבר יום המלח
 - 3 רמת הנדיב
 - 4 מו"פ ערבה דרומית ומכון הערבה ללימודי הסביבה
- * danielo@ar.technion.ac.il

תקציר

מחקר סוציו-אקולוגי ארוך טווח בישראל (LTSER). המאמר דן בהצלחות בשלבי הביניים של מחקרי ה-LTSER, ומסיים בהגדרת האתגרים העומדים בפנינו ביישום מסגרת המחקר המוצעת ובשימור פעילותה לטווח הארוך.

בעקבות ההשפעה העמוקה וארוכת הטווח של המין האנושי על כדור הארץ הגדירו הגאולוגים עידן חדש – עידן האדם (האנתרופוקן). האנתרופוקן מאופיין בהתדרדרות מואצת של כלל מערכות כדור הארץ לצד חוסר מודעות והתייחסות של המין האנושי למשבר ולתוצאותיו הצפויות. כדי להגביר את היכולת לספק מענה מדעי-מחקרי הולם לניטור השינויים הסביבתיים ולשפר את המדיניות וההתנהגות המקיימות הציעו מדענים מסגרות מושגיות חדשות למחקר מדעי. רשת המחקר האירופית ארוכת הטווח (eLTER RI) והנציגות הישראלית שלה (LTER-Israel) אימצו תפיסה של מחקר סוציו-אקולוגי, שלפיה החוקרים עובדים בצוותים בין-תחומיים ובשיתוף בעלי עניין מקומיים במטרה להגדיר את אתגרי הקיימות המקומיים, לנטר אותם ולטפל בהם. במאמר מוצגים מסגרת המחקר חוצה התחומים על מרכיביה השונים וגם אופן היישום שלה בשלוש פלטפורמות של

מילות מפתח

מחקר חוצה-תחומים (טרנסדיסציפלינרי), מחקר רב-תחומי, ממשק בר-קיימא, קיימות, LTER-Israel, eLTER RI, LTSER

הצורך במחקר סוציו-אקולוגי רב-תחומי

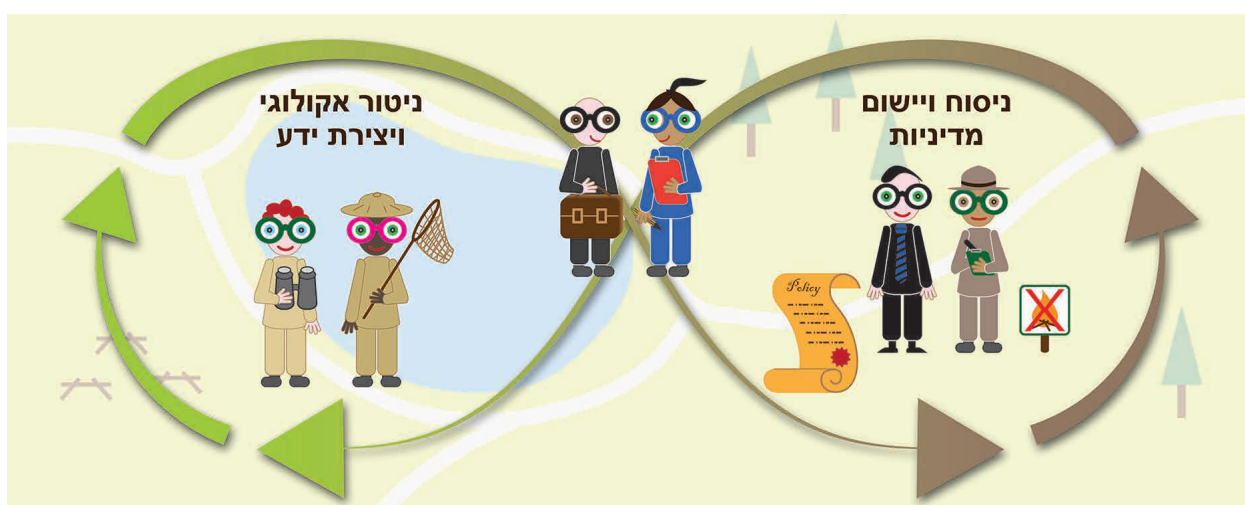
בארץ לאורך המאה האחרונה (דולב ופרבולוצקי, 2002; בן-משה ורנן, 2022). פתרונות טכנולוגיים המבוססים על דלקי מחצבים נתנו מענה חלקי לבעיות כמו אובדן קרקע פורייה והתדלדלות מאגרי מים. עם זאת, בעיות אלה ואחרות ממשיכות לאיים על הקיימות ארוכת הטווח של המערכות האקולוגיות בישראל. הפגיעה של גורמים ישירים במערכות אקולוגיות (למשל, זיהום והתפשטות עירונית) ושל גורמים עקיפים (למשל, גידול אוכלוסייה ועלייה בצריכת חומרים ואנרגיה) נמשכת למרות זמינות ידע מדעי וטכנולוגי מתקדם על הבעיות ועל הגורמים להן ועל אף קיומן של תובנות באשר למדיניות ולפעולות שיש ניתן לנקוט כדי לפתור אותן. בישראל ובשאר העולם יש צורך במענה דחוף לשאלה: כיצד ניתן להפוך את המחקר המדעי והידע הנצבר ליעילים יותר בתחום הפוליטי-חברתי-כלכלי?

מחקר סוציו-אקולוגי בין-תחומי (interdisciplinary) וחוצה תחומים (transdisciplinary) הוצע כאחד הפתרונות לצמצום הפערים בהבנתנו את אתגרי הקיימות וביכולתנו להתמודד איתם. מחקר כזה משלב ידע מגופים מדעיים וחברתיים שונים, ומכוון במפורש לפתרון בעיות תוך התמקדות בטיפול באתגרים חברתיים וסביבתיים מורכבים, בייחוד כאלה הכרוכים באינטראקציות בין האדם לסביבה ובמשובים (Lang et al., 2012; Holzer et al., 2019). מחקר סוציו-אקולוגי שואף לשלב מקורות ידע מגוונים מהאקדמיה ומחוצה לה, כמו גם מבעלי עניין שונים בחברה האזרחית (יצירה משותפת של ידע).

מחקר סוציו-אקולוגי מאופיין בשקיפות ובבקרה עצמית וכן בהתקדמות בשלבים ובהתאם להתפתחויות (תהליך איטרטיבי). מחקר כזה מוכוון פתרון ודורש ניסויים, רפלקציה על התוצאות, גיבוש מדיניות, כלי הערכה והערכה מחודשת

אנו חיים בעידן שבו ההשפעה האנושית על כדור הארץ חסרת תקדים בהיקפה ובעוצמתה. לנוכח השפעה עמוקה וארוכת טווח זו הוגדר עידן גאולוגי חדש – האנתרופוקן (Lewis and Maslin, 2015). שמונה מיליארד בני אדם מאכלסים כיום את כדור הארץ ומנצלים כמעט כל פיסת קרקע פורייה לייצור מזון ואנרגיה. האנושות מייצרת כמויות פסולת שהן הרבה מעבר ליכולת הקליטה של המערכות האקולוגיות הגלובליות, ועל כן, למעשה לא ניתן יהיה להבטיח עתיד בר-קיימא למין האנושי (Steffen et al., 2015). למרות בסיס הידע הרחב המתעד תהליכים אנתרופוגניים אלה, בני האדם ממשיכים בהתנהלותם ההרסנית. מדיניות, טכנולוגיה מתקדמת ושינויים בדפוסי התנהגות הצליחו למתן את השחיקה הסביבתית באופן חלקי, ורק לעיתים רחוקות הצליחו למנוע מגמות שליליות. הצורך לעצור את ההתדרדרות הסביבתית העולמית ולהפוך את מגמת ההרס להתנהלות בת-קיימא לטובת הדור הנוכחי והדורות העתידיים, מחייב אותנו לדון בשאלה: מה הקהילה המדעית יכולה לעשות אחרת כדי להתמודד עם האתגר?

בישראל הבעיות האלה והשאלות שבצידן חריפות ורלוונטיות. אוכלוסיית ישראל צומחת במהירות, ומונה כיום כ-9.5 מיליון איש. צפיפות האוכלוסין, לצד רמת החיים הגבוהה, הופכות את ישראל לאנומליה בעולם (מבחינת יחס אדם / שטח תומך בקיומו), ובפרט בקרב מדינות הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים (OECD). הפיכת שטחים פתוחים לתשתיות, לשטחי מסחר ולשטחי חקלאות גרמה להשחתה חמורה של המערכות האקולוגיות בישראל, ואנו עדים לירידה משמעותית במגוון הביולוגי



איור 1

מודל רעיוני של מחקר סוציו-אקולוגי חוצה תחומים לפי Holzer et al., 2019

מהפלטפורמה הצרפתית Atelier Plaine et Val de Sevre סקירה מקיפה של האופן שבו פלטפורמת ה-LTSER שלהם הוקמה והתפתחה, תוך שהם כוללים את כל המרכיבים לעיל (Berthet et al., 2022). נכון לסוף 2022 קיימות יותר מ-50 פלטפורמות ברחבי אירופה (ראו [באתר eLTER](#)), מהן ארבע בישראל. במאמר זה נציג את ההיסטוריה והפעילויות של שלוש מהן (הערבה, הר הנגב ורמת הנדיב) – בפלטפורמת צפון הנגב עדיין אין נתונים מספקים), ונדגים כיצד יושם המושג סוציו-אקולוגיה חוצת תחומים (Socio-Ecology) באופן מחקרי לשם הערכת הצלחות הפלטפורמות בקידום קיימות אזורית, ונעלה את האתגרים להשפעה משמעותית יותר בעתיד.

תשתיות LTSER הישראליות

איור 2 מציג שלוש פלטפורמות LTSER הפועלות בישראל: הערבה, הר הנגב ורמת הנדיב. עבור כל פלטפורמה נציג את ההקשר הגאוגרפי, ההיסטוריה והיעדים, ונסקור את אופן יישום המסגרת המושגית, התוצאות החיוביות, אם היו, והאתגרים העיקריים בתפעול הפלטפורמה ובהשגת היעדים.

הערבה

פלטפורמת הערבה משתרעת במרחב שבין ים סוף לים המלח (לא כולל שני מקווי המים), גובלת בירדן ממזרח, וכוללת את המועצות האזוריות הערבה הדרומית והמרכזית, שתוחמות את גבולה ממערב. אזור זה הוא מדבר צחיח קיצוני, המאופיין בשיטפונות ובכמויות משקעים נמוכות (25–50 מ"מ של גשם בשנה), היורדים במספר קטן של אירועי גשם נדירים ובלתי צפויים במהלך החורף עם שונות גבוהה בין השנים. עמק הערבה, שאורכו 165 ק"מ ורוחבו 5–15 ק"מ, כולל התיישבות כפרית בצמידות לשדות חקלאיים ולשטחים טבעיים פתוחים (Goldreich and Karni, 2021). המערכת האקולוגית באזור מאופיינת בנוכחות עצי שיטה בעמקים, בזרימת מים לא סדירה בעמקים עם שיטפונות מדי פעם, ובקרקעות סלעיות או חוליות לחילופין. השטחים המפותחים של העמק כוללים מערכות חקלאיות, התיישבות כפרית וקיבוצית ואת עיר החוף אילת. השטחים החקלאיים באזור משמשים לגידול ירקות עונתיים (ספטמבר–יוני), לצד מטעים (בעיקר תמרים). ב-15 שנים האחרונות גם הוקמו יותר מ-500 דונם של שדות פאנלים סולאריים באזור. תחנת המחקר ארוך הטווח, נחל שיטה, פועלת בפלטפורמה. הפלטפורמה הוקמה בשנת 2009 עם החלטת ועדת היגוי של LTER ישראל, שרצתה להוסיף לרשת אתרי המחקר האקולוגיים של ישראל גם תוכנית מחקר חברתי-אקולוגי

מתמדת, כלומר, ניטור ארוך טווח (Lang et al., 2012). איור 1 מציג באופן סכמטי את המאפיינים הייחודיים של מחקר סוציו-אקולוגי חוצה תחומים.

מאפייני המחקר שצוינו לעיל פותחו מתאוריית הקיימות ומניתוח חקרי מקרה, ונמצאו יעילים בפתרון בעיות סביבתיות (Ostrom, 2009; Lang et al., 2012; Singh et al., 2013). בהתבסס על יעילות השיטה ועל הצלחותיה ההיסטוריות אימצו את הגישה חוקרים רבים, מוסדות מחקר ותשתיות מחקר, ובהם גם רשת המחקר האירופית ארוכת הטווח או eLTER (European Long-Term Ecosystem Research), ראו אתר [eLTER](#).

דרך חדשה לעסוק במדע דורשת הנחת תשתית מחקרית חדשה (Haberl et al., 2006). לשם כך, מאז 2003, שנת הקמתה הרשמית של eLTER, הרשת מפתחת אתרים ברחבי אירופה שיש בהן תשתיות פיזיות ואינטלקטואליות המתאימות לביצוע מחקרים סוציו-אקולוגיים ארוכי טווח. האתרים האלה הוגדרו כ"פלטפורמות", והן מהוות למעשה את הביטוי הפיזי של המאמץ לקדם את המחקר הסוציו-אקולוגי (Haberl et al., 2006; Singh et al., 2013).

הפלטפורמה בנויה סביב תחנת LTER, ועל פי רוב כוללת מרחב גדול יותר, אזור מוגדר מבחינה גאוגרפית וחברתית (למשל, תחום מועצה אזורית), שפועלת בו קבוצה בין-תחומית של מדענים. המחקרים מונחים על ידי בעיות שנוסחו בשיתוף עם בעלי עניין בכל הרמות – המקומית, האזורית והארצית. ב-2006 נוסחה לראשונה המסגרת הרעיונית העומדת בבסיס הפלטפורמות (Haberl et al., 2006). במאמר מדגישים המחברים כיצד מחקר סוציו-אקולוגי חוצה תחומים שונה באופן מהותי מהמחקר האקולוגי המסורתי ששלט ברשתות LTER עד 2006, וכיצד ההבדלים האלה מצדיקים פיתוח תשתיות מחקר חדשות ומותאמות.

המאפיינים הבסיסיים של מחקר סוציו-אקולוגי כוללים:

- התמקדות ביחסי הגומלין שבין מערכות חברתיות למערכות טבעיות;
- חקירה בו-זמנית במספר ממדים מרחביים ולאורך תקופות זמן ארוכות;
- מחקר רב-תחומי ובין-תחומי – שיתוף פעולה בין מדענים בעלי מומחיות בתחומי מחקר שונים;
- מחקר חוצה תחומים – שיתוף פעולה עם בעלי עניין ושימוש בידע שברשותם.

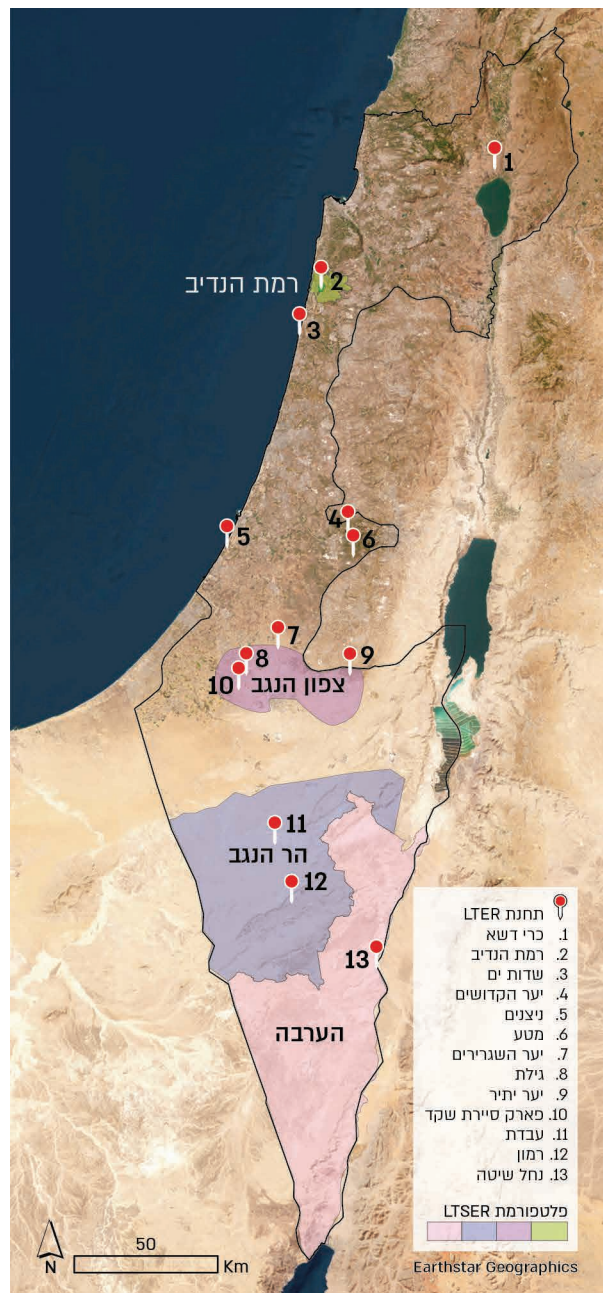
מאפייני אחרון זה, מחקר חוצה תחומים, מציע בסיס לתרבות עבודה חדשה עבור המדענים, שבה בעלי עניין הם חלק אינטגרלי מההליך המדעי על שלביו השונים: מהגדרת הבעיה המוצעת לחקירה, דרך ביצוע המחקר בפועל ועד לניסוח המלצות מדיניות ויישום (Holtzer et al., 2019).

מחקר בפלטפורמות כאלה מתועד במספר מחקרים (Singh et al., 2013; Dick et al., 2018). לאחרונה פרסמו מדענים

סדנאות בין-לאומיות בנושאי LTER ו-LTSER (איור 3). בשנת 2018 הועסקה בפעם הראשונה מנהלת פלטפורמה במשרה חלקית ועל בסיס העקרונות של "מדריך השיטות המומלצות לפלטפורמות סוציו-אקולוגיות" (Orenstein et al., 2019). היא הובילה תהליך רענון והתחדשות של פלטפורמת הערבה. השלב הראשון בתהליך היה הקמת ועדה מדעית. הוועדה הורכבה ממדענים מתחומי דעת שונים שעסקו וחקרו באזור, והיא התכנסה על בסיס חודשי בין השנים 2018–2021. מטרתה הראשונה של הוועדה הייתה להטמיע את התהליך המתואר במדריך, לרבות (א) יצירת רשימה מדורגת של בעלי עניין לפי חוזק הקשר שלהם לאג'נדה של הפלטפורמה; (ב) יצירת רשימה של שירותי המערכת האקולוגית (שמ"א) הזמינים באזור הערבה ודירוג חשיבותם בהתאם לתפיסות ולסדרי עדיפויות של בעלי העניין; (ג) ביצוע סדרה של פגישות בצורות שונות עם בעלי עניין באשר לצורכי המחקר האזוריים וסדרי עדיפויות לגבי שמירת הטבע ופיתוח אזורי; (ד) ייזום פרויקטים מחקריים סוציו-אקולוגיים חדשים, רצוי בין-תחומיים וחוצי תחומים, המבוססים על תוצאות שלבים ב' ו-ג'.

יעדי הפלטפורמה גובשו על ידי מנהלת הפלטפורמה בהתייעצות עם בעלי עניין, לרבות הצוות המדעי של הפלטפורמה. היעדים כוללים את המטרות הבסיסיות של רשת LTER אירופה למחקר סוציו-אקולוגי שהותאמו להקשר המקומי: מחקר לניטור ארוך טווח של המערכת האקולוגית המדברית, תפקודיה, הידרולוגיה ואירועי שיטפונות, כולל מחקרים על השפעות פעילות האדם על המערכות האקולוגיות המדבריות ולהפך; מחקרים על שירותי תושבי האזור, בעיקר בתחומי החקלאות, אנרגיה ממקורות מתחדשים, שינוי האקלים ותיירות אקולוגית; חיבור תושבים ובעלי עניין אחרים למחקר ושילובם בפעילות הפלטפורמה באמצעות תוכניות חינוכיות כדי לעודד אותם השתתף באופן פעיל בקידום עתיד בר-קיימא לאזור.

האתגר החשוב ביותר של הוועדה בהקמת התבססות הפלטפורמה היה למצוא כיצד לשלב את בעלי העניין בכל היבט של המחקר המדעי ובניסוח ההמלצות למדיניות. לשם כך, צוות הפלטפורמה השתמש במספר מנגנונים: ראיונות, דיוני שולחן עגול ופגישות במתכונות שונות. הדגשת מעורבות בעלי עניין הייתה צעד מוחשי הכרחי ליישום מסגרת מחקר חוצת תחומים. כך, לבעלי העניין לא רק התאפשרה השתתפות בקביעת מסלול המחקר של הפלטפורמה, אלא ניתנה ההזדמנות להחליף מידע ולהעמיק את הידע באתגרים סוציו-אקולוגיים אזוריים (knowledge co-production). באמצעות פגישות תכופות אלה למד צוות הפלטפורמה להבין את החזון הכללי של בעלי העניין לאזור ואת הקשר המורכב שלהם למרחבים הפתוחים ולסביבה, וזה אפשר לצוות לזהות פערי ידע



איור 2

הפלטפורמות LTSER ותחנות LTER בישראל

באזור צחיח קיצון. כך, ההקמה הראשונית של הפלטפורמה הייתה תהליך שהונע מלמעלה למטה – מהלך הסותר במידה מסוימת את הרצון להקים ישות כמו פלטפורמה מלמטה על ידי בעלי עניין וחוקרים מקומיים. כחלק ממאמץ לחנוך רשת LTER ירדנית וכדי לפתח שיתופי פעולה אזוריים עם מדענים ירדנים, הוקמה פלטפורמה בוואדי עראבה, בצד הירדני של הגבול (Orenstein and Groner, 2015). בין 2009 ל-2018 שימשה הפלטפורמה בעיקר לעידוד ביצוע מחקרים סוציו-אקולוגיים באזור ולאירוח

שימושי הקרקע בפלטפורמת הר הנגב כוללים עיירות, יישובים חקלאיים, כפרים של שבטים בדואיים, תיירות, מתקני צבא ושטחי אימונים. פעילות מגוונת זו לצד שמורות טבע מעוררת קונפליקטים סביבתיים רבים. שתי תחנות מחקר אקולוגי ארוך טווח פועלות בשטח הפלטפורמה: עבדת – המייצגת אקלים צחיח, ורמון (בתוך מכתש רמון) – המייצגת אקלים צחיח קיצוני.

הפלטפורמה הוקמה בשנת 2016 בהשראת רשת LTER אירופה ומתוך תפיסה שנקודת מבט חברתית-אקולוגית יכולה לסייע בהתמודדות עם אתגרי הפיתוח ושמירת הטבע באזור. מו"פ מדבר וים המלח פרש את חסותו על הארגון החדש, ובמסגרת זו פועלת מנהלת הפלטפורמה. את הפלטפורמה מלווה צוות מומחים רב-תחומי ממוסדות אקדמיים שונים.

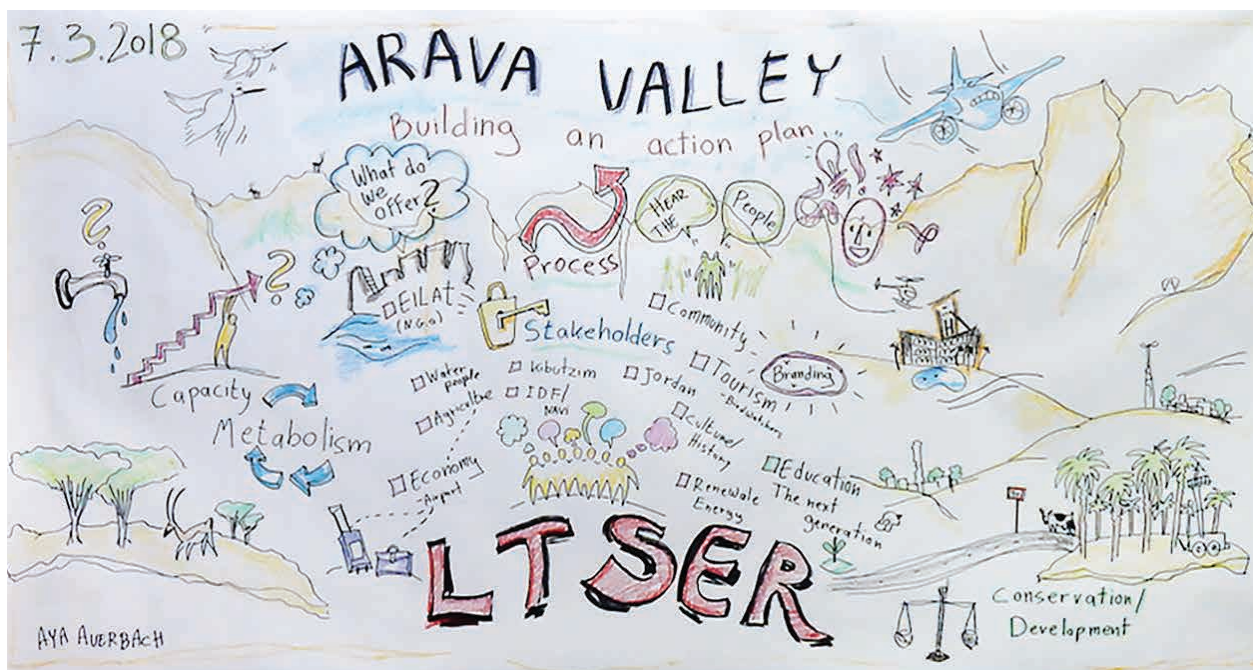
כמסגרת הפעולה של הפלטפורמה אומץ מודל סוציו-אקולוגי חוצה תחומים, ובהתאם לכך, גם הובן שדרישה לשירותי מערכת אקולוגית שונים מצד קבוצת בעלי עניין מסוימת (כגון חקלאים, רועים, או מפעילי מיזמי תיירות), עלולה לבוא על חשבון משאבים שחיוניים לקבוצת בעלי עניין אחרת, או לפגוע במבנה ובתפקוד של המערכת החברתית-אקולוגית המקומית. הדינמיות הקיצונית שאופיינית לאזורים מדבריים, עשויה להחריף את הדילמות האלה, ובפרט בהתחשב בשינוי האקלים שהשלכותיו כבר מסתמנות באזור. המטרה המרכזית של פלטפורמת הר הנגב היא הנחת

שאפשר להתמקד בהם. יתרון נוסף (ומכריע) לשיתוף בעלי העניין היה יצירת תחושת בעלות על הפרויקט ונכונות ורצון להמשיך בשיתוף פעולה עתידי בתוך הפלטפורמה.

פעילות עיקרית נוספת עסקה בחינוך סביבתי. בעזרת קבוצת פעילי שמירת הטבע האזורית סבב"ע (סביבה בריאה בערבה) יצא לפועל בשנים 2019–2021 פרויקט 'גנים אקולוגיים'. פרויקט זה כלל קיבוצים וקהילות פרטיות, והתמקד בהגברת המודעות בקרב התושבים בנושא שירותי מערכת אקולוגית אזוריים והמגוון הביולוגי ובעידוד פיתוח אזורי בר-קיימא.

הר הנגב

פלטפורמת LTER הר הנגב משתרעת על שטח של כ-5,000 קמ"ר בין אגן נחל צין בצפון לבין נחל פארן בדרום. במערב היא מוגבלת על ידי הגבול המדיני של ישראל ומצרים, ובמזרח משמש אותה גבול המועצה האזורית רמת הנגב. שטח הפלטפורמה כולל סדרה של רכסים, בגובה 400–1,000 מטר מעל פני הים. האזור צחיח עד צחיח קיצוני עם ממוצע גשם שנתי של 60–80 מ"מ, כ-200 לילות של טל וטמפרטורה שנתי ממוצעת 18–19 מעלות צלזיוס, ונחשב חלק מחגורת המדבריות העולמית. האזור עשיר במגוון גאולוגי וביולוגי ובנופי טבע ייחודיים. אחד הבולטים שבהם הוא תופעת מכתשי הסחיפה, שהעניקו לו את שמו הנוסף: "ארץ המכתשים" (Avrieli-Avni et al., 2020).



של חלק מהחקלאים להעדיף קרקעות מלוחות בשולי העמקים על פני התמודדות עם שיטפונות וסחף קרקע. דילמה שנייה שמסגרת סוציו-אקולוגית גויסה עבורה היא השילוב בין תיירות ופעילות רועים בדואים בהר הנגב, ובין שמירת המגוון הביולוגי. במחקר נחשפה מצד אחד התחושה של הקבוצות השונות של בעלי העניין כאילו הקונפליקטים משתרעים על פני כל השטח, ומצד שני התברר כי אזורי הקונפליקט מוגבלים גאוגרפית, ולפיכך הדילמות קלות יותר לפתרון (Avriél-Avni et al., 2020). צוות המומחים של פלטפורמת הר הנגב (איור 4) נרתם בימים אלה לסייע בדילמה נוספת בעניין זה, סביב הרצון של הרועים הבדואים לשמר את מסורת רעיית הגמלים והחשש של אנשי שמירת הטבע מפני פגיעה אנושה במגוון הביולוגי בשל הרעייה. בשל היחסים המתוחים בין שתי קבוצות בעלי העניין בקונפליקט זה, גיבוש הפתרון נעשה תוך מחקר חוצה תחומים מקביל, עם כל אחת מהקבוצות בנפרד.

רמת הנדיב

פלטפורמת רמת הנדיב משתרעת על פני שטח של כ-155,000 דונם, הכוללים את רמת הנדיב וחמש מועצות סביבה. אזור זה של בקעת הנדיב ואגן נחל תנינים משלב ערכי טבע עם חקלאות, קהילות כפריות ואתרי מורשת. בלב השטח נמצאת רמת הנדיב – פארק טבע וגני זיכרון לברון

תשתית מדעית לפתרונות בני-קיימא עבור דילמות חברתיות-אקולוגיות. מטרת המשנה הן: טיפוח תחושת מקום ואחריות סביבתית אזורית; טיפוח הבנת החשיבות של ביסוס ניהול שטח למחקר, לתשתית נתונים מדעיים ולניטור ארוך טווח. עוד נקודה שיש להתייחס אליה היא המונח התאורטי 'תאוריית פעולה': המונח עוסק במערכת האמונות והתפיסות של אנשים, אשר מנחה את אופן הפעולה שלהם.

שימוש במסגרת סוציו-אקולוגית בפתרון דילמה סביבתית התקיים, לדוגמה, סביב חקלאות מודרנית באגן העליון של נחל צין. המחקר החל בעקבות פניות חוזרות של חקלאים לרשות ניקוז ים המלח בבקשה לסייע להם בתיקון נזקי סחף קרקע בכרמים הנתועים בעמקים בפרויקט "שפת מדבר". רשות הניקוז פנתה אל חוקרי הפלטפורמה בבקשה לסייע בניסוח 'תורה סדורה לחקלאות מודרנית בעמקים של הר הנגב'. צוות מומחים רב-תחומי – גאולוגי, הידרולוגי, אקולוגי ומתמחים במדעי החברה – נרתם למשימה וניסח יחד עם החקלאים ועם רשות הניקוז עקרונות לעיבוד אדמה בעמקים הנתונים לשיטפונות עונתיים. המחקר חוצה התחומים הניב תובנות לגבי מבנים בתוך המערכת החברתית-אקולוגית שמשמרים התנהגות לא אחראית כלפי שימור קרקע (Avriél-Avni et al., 2018) וכן לגבי ההשפעה של 'תאוריית הפעולה' של החקלאים השונים על עיבוד הקרקע ושימורה (Avriél-Avni et al., 2019) ונטייתם



איור 4

סיור שטח של מדעני פלטפורמה הר הנגב
פברואר 2022. צילום: דניאל אורנשטיין.

קיימות במרחב (2014–2018), עלה הצורך להכיר ולחזק את הקשרים עם הקהילה והמבקרים. הדבר נעשה דרך לימוד של תפיסות והעדפות, חיפוש המודל הנכון לחיבור בין הטבע לאדם (Orenstein and Shach-Pinsly, 2017) ולימוד דפוסי הפעילות בשטח באמצעות נוטני GPS ויישומן (אפליקציה) ייעודי (Grinberger, 2019). בתום התקופה התמקד המחקר במבקרים ברמת הנדיב (700,000 בשנה) תוך אפיון חוויית הטבע, הזיקה לטבע והשְׁלוֹמוֹת (well-being) ובחינת שיטות שונות להעצמתן (Colléony et al., 2020). משתנים אלה נבחנו גם לפני ואחרי סגרי הקורונה, והראו, למשל, כיצד לאחר הסגר המוטיבציה העיקרית לביקור הייתה "רגיעה", לעומת מוטיבציות כמו למידה, ריגוש ומפגש חברתי. כלי נוסף לחיבור לטבע הוא השתתפות במדע אזרחי, למשל דרך גששות חיות בר, והאופן בו ההשתתפות עשויה להשפיע על משתנים כמו זהות מקומית ושייכות (בן דוד, דוקטורט בעבודה). במסגרת זו החל, בשיתוף מועצת זכרון יעקב, ניטור של היער העירוני בזכרון יעקב על ידי הקהילה לטובת טיפול ביער הקיים, טיפוחו וחידושו, וכמובן העלאת המודעות לחשיבות העצים וחיזוק הזיקה למקום. בשנת 2021 הוחלט להגדיר את חוויית הטבע של המבקר כאחד מנושאי הליבה של העשייה הארגונית. המהלך לווה במחקר תומך, בין השאר דרך פעולות עיצוביות בשטח שנועדו לבדוק את היעילות של תיווך ידע בדרך קוגניטיבית לעומת חוויה רגשית. אימוץ מודל הפלטפורמה ורישום רמת הנדיב ברשת האירופית (2020) נעשו עם ההכרה בהתרחבות המחקר באתר לכיוון החברתי כולל הכללת בעלי עניין מהמרחב (אזור 5). במסגרת זו מיוחסת חשיבות גבוהה לתקשורת המדע למקבלי החלטות ולציבור, ולפיתוח כלים תומכים, בהם הִתְחַזָּה (ויזואליזציה) מבוססת מדע של נוף הפארק כיום ובעתיד בתרחישי ניהול שונים (Hadar et al., 2021).

אדמונד דה רוטשילד, שהם ביטוי לפסיפס נופי ים תיכוני מגוון, שעוצב והושפע מפעילות אדם ארוכת שנים, ומייצג את השטחים הפתוחים בחבל הים תיכוני בישראל. הפארק מנוהל בגישת הממשק האקטיבי, הגורס שיש להתערב בתהליכים אקולוגיים להשגת סוגים שונים של תועלת לטבע ולאדם. אתגרי הניהול כוללים מניעת שרפות, שמירה על המגוון הביולוגי, התמודדות עם השפעות שינוי האקלים ועם מינים מתפרצים ופולשים, שמירה על קישוריות אקולוגית וצמצום קונפליקטים בין חיות בר ובני אדם, לצד ניהול עומסי מבקרים ויצירת חוויית ביקור משמעותית.

מזה כ-30 שנה נערכים ברמת הנדיב מחקרים אקולוגיים מגוונים, שנועדו לספק בסיס מדעי להחלטות הממשק, לשמר ולהעשיר לטווח הארוך את המגוון הביולוגי והנופי האופייני לפארק, ולפתח שיטות מחקר חדשות. לאחר כ-20 שנות מחקר קצר טווח הוחלט ב-2003 להקים תחנה לניטור ארוך טווח, כחלק מרשת LTER ישראל ואירופה. במסגרת זו, ולצד מחקרים העוסקים בשאלות ממוקדות, מנטרים באופן רציף משתנים ואורגניזמים בעלי משמעות לניהול השטח או כאלה המהווים אינדיקטורים למצב המערכת האקולוגית, ובהם צבאים, חוגלות, ציפורי שיר, אלונים, דבורים, צומח עשבוני ועוד. הנתונים נאספים ישירות למסד נתונים נגיש ברשת, המאפשר ביצוע מחקר וממשק אינטגרטיבי מבוסס ידע, וכנתוני ייחוס לעתיד לבוא. מדיניות זו השפיעה גם על פרויקטים קצרי טווח שמתבצעים בסטנדרטים גבוהים ואחידים, ומחויבים בשיתוף הנתונים ובמתן המלצות לניטור עתידי.

לאורך השנים ועם הצטרפות רמת הנדיב לרשת LTER אירופה התפתח המחקר מהתמקדות באוכלוסיות ובחברות לתפיסה הוליסטית יותר, הרואה את הפארק כמערכת שלמה ואת האדם כחלק ממנה. לצד הקמת "השותפות לקיימות אזורת" (Apel and Lahat, 2021), שפעלה לקידום



איור 5

מפגש בעלי עניין בפרויקט השותפות לקיימות אזורת ברמת הנדיב דצמבר 2017. צילום: הילה אלטר.

מסקנות ודין

לסוגיות חברתיות-אקולוגיות רגישות.

הצלחת הפלטפורמה תלויה גם במידת האמון בין צוות המחקר ובעלי העניין השונים. אמון חיוני לתפקוד הבסיסי של הפלטפורמה כדי להבטיח שותפות במחקר והשקעת זמן בפלטפורמה מצד בעלי העניין (למשל, מילוי שאלונים או השתתפות בפגישות). צוות הפלטפורמה לא יכול להיתפס כמנתק מהשטח או כאדיש להשלכות שיש לצעדי מדיניות או ניהול על בעלי העניין עצמם (קרי, החוקרים לא יכולים לחשוב רק על איכות הסביבה או על שלמות אקולוגית, אלא גם על הצרכים המידיים של בעלי העניין). הפעילויות הקשורות לשיתוף הציבור דורשות שעות עבודה רבות. פגישות, דאגה ליחסי ציבור, עבודת חינוך והסברה והפעלת רשתות חברתיות גוזלות זמן יקר ומשאבים מצד החוקרים. ברוב המקרים העיסוק בנושאים אלה אינו מוערך על ידי המעסיקים בתחנות ובמוסדות המחקר, ואינו נתפס כחלק מהתפקיד. פתרון אפשרי, בהתאם לתקציבים, הוא הקצאת כוח אדם ייעודי לנושאים אלה.

גם מימון הפעילות הוא אתגר מרכזי. פעילויות רבות בפלטפורמה נחשבות מחוץ לתחום של מחקר מסורתי, ולכן אינן מקבלות ביטוי בתקציבי מחקר. יש למצוא קרנות ייעודיות שמוכנות לממן מחקר חוצה תחומים המבוסס על תהליכים ולא על תוצאות בלבד. ישנן מספר קרנות בארץ ובחו"ל המכירות בערך של מחקרים סוציו-אקולוגיים: למשל, נקודת ח"ן, שמימנה מחקר חוצה תחומים ששילב חוקרים, תעשייה וכורמים (Teschner and Orenstein, 2021), או קרן יד הנדיב שמימנה פרויקט חמש-שנתי לשותפות בין רמת הנדיב והקהילות שסביבה לקידום קיימות אזורית ושיפור המדיניות בתחומים שונים. גיוס תקציבים למחקרים ארוכי טווח ובין-תחומיים מאתגר אף הוא, כנראה בשל תאוריית הפעולה המקובלת על רוב הרשויות, המבוססת על הבחנה בין חברתי לאקולוגי ושואפת לפתרונות מהירים ונקודתיים.

ראוי לציין גם שישנה רתיעה מצד בעלי העניין מהחלת מסגרת ארגונית חדשה ונוספת לאלה הקיימות, ולפעמים הם 'מתעייפים' מעודף מאמצים של חוקרים וארגונים שונים 'לשתף פעולה' (קרי: "stakeholder fatigue"). גם התפיסה העומדת בבסיס פלטפורמות LTSER, שתומכת בביסוס פתרונות מקיימים על נתונים ארוכי טווח, עומדת בניגוד לרצון בעלי העניין לקבל תשובה 'כאן ועכשיו'.

יעדים לעתיד

האתגר הגדול ביותר של רשת LTER ישראל בהקשר לפלטפורמות LTSER הוא לבסס את ארבע הפלטפורמות עם תקציבים קבועים, תמיכה מוסדית, וצוות מחקר מיומן במחקר חוצה תחומים. הארגון האירופי מפתח בימים אלה את גישתו למחקר הסוציו-אקולוגי חוצה התחומים. פעילות זו כוללת הכנת מפרטים לפלטפורמות LTSER

תרומת פלטפורמות LTSER לקידום קיימות אזורית

התדרדרות סביבתית המאיימת על רווחת האנושות ממשיכה חרף התקדמות משמעותית בהבנת המניעים והמנגנונים של אתגרים חברתיים-אקולוגיים. מוסדות מחקר שונים מקדמים קיימות ברמה הרעיונית-אקדמית, אך לעיתים קרובות אינם מגשימים את עקרונותיה ברמה החברתית-פוליטית או מתפקדים כסוכני שינוי. כדי לענות על הצרכים העכשוויים של החברה האזרחית התפתח מדע סוציו-אקולוגי חוצה תחומים. הוא מבוסס על עקרונות קיימות מוכחים, כגון שיתוף חוקרים, בעלי עניין, שקיפות והערכה שגרתית (רפלקציה).

סקירה קצרה זו הציגה שלוש פלטפורמות ישראליות שמיישמות את תאוריית המחקר הסוציו-אקולוגי, ואת עקרונות העבודה שמניעים אותן: מחקר בין-תחומי וחוצה תחומים, מחקר ממוקד פתרונות ושיתוף מלא עם מגוון בעלי עניין. טבלה 1 משווה את התכונות העיקריות של כל פלטפורמה. את התוצאות החיוביות המרכזיות של פעילויות הפלטפורמות ניתן לייחס לתהליך, ולא דווקא לתפוקה. שיתוף הפעולה ההדוק עם בעלי העניין הניב הצלחות כגון: חיזוק הקשרים בין חוקרים בתחומי מחקר שונים; חיזוק האמון בין חוקרים לבעלי העניין השונים – החוקרים נתפסים כ"יוצאים מהבועה שלהם", ולכן כנגישים יותר; נושאי המחקר מותאמים יותר לצרכים האזוריים; יצירת הזדמנות לבניית מסגרת ותרבות של שיתוף פעולה בין רשויות שפועלות על פי רוב בהתאם לתחומי האחריות שלהן בלבד – העבודה המשותפת יוצרת הזדמנות לזהות ביחד אתגרים סביבתיים, לעצב את המחקר ולדון בתוצאות ובהשלכותיהן.

לסיכום, המאפיינים ודרכי הפעולה של פלטפורמות LTSER מחזקים את השפעתן במרחב ותורמים להפיכת המוסדות התומכים בהן לסוכני שינוי חברתי-אקולוגי משמעותי.

האתגרים

לצד ההצלחות ישנם אתגרים מתמידים רבים בהקמה, בהפעלה ובתחזוקה של פלטפורמה למחקר חוצה תחומים. פלטפורמת LTSER היא ישות רעיונית שקיומה תלוי בתודעת בעלי העניין. לפיכך, נדרש מאמץ מתמשך לשימור יחסי הציבור. ניהול הפלטפורמה מצריך כישרון מיוחד ביחסים בין-אישיים ובניהול קבוצות מגוונות של חוקרים ובעלי עניין שונים ("גיבורי קיימות" – Orenstein and Shach-Pinsly, 2018). עובדה זו משמעותית יותר כשמביאים בחשבון שיעוד הפלטפורמה הוא חקר אתגרים סוציו-אקולוגיים מורכבים במיוחד עם בעלי עניין שונים שלעיתים נמצאים במצב של ניגוד עניינים (גלוי או סמוי). בשל כך, על צוות המדענים של הפלטפורמה לשמש לעיתים קרובות מגשר ולעבוד עם כל צד בנפרד כדי למצוא מענה בר-קיימא

פלטפורמה	בעלי העניין	נושאי המחקר	דוגמאות לאינטגרציה של תחומי דעת שונים	דוגמאות לאתגרים עיקריים לקיימות
הערבה	מועצה אזורית חקלאים ואיגודים חקלאיים תיירנים החברה להגנת הטבע רשות הטבע והגנים סבב"ע – סביבה בריאה בערבה פארק הצפרות אילת מכון הערבה ללימודי סביבה מו"פ ערבה דרומית מו"פ מדבר וים המלח	תפיסות שירותי המערכת האקולוגית בין אוכלוסיות שונות פוטנציאל כלכלי של אקו-תיירות, חקלאות, ייצור אנרגיית שמש השפעת זיהום קרקע על עצי שיטה המגוון הביולוגי והשפעת הפעילות של בני האדם בסביבות שונות (למשל חולות, חקלאות) יחסי אדם-טבע בשני צידי הגבול עם ירדן	מחקר אגרו-אקולוגי, שירותי מערכת אקולוגית ממערכות חקלאיות, חקלאות בת-קיימא מדברית שיקולים של שירותי המערכת האקולוגית בתכנון שימושי קרקע השפעות של תיירות אקולוגית על קהילות באזור	פיתוח כלכלי רגיש לתנאי מדבר (למשל בחקלאות, בתעשייה, בהתיישבות) שמירת הטבע מול לחצי פיתוח (למשל הרחבת חקלאות ושדות פאנלים סולאריים) שמירת אוכלוסיית עצי שיטה שמירה על ציפורים נודדות
הר הנגב	רשות הטבע והגנים תיירנים רשות ניקוז ים המלח משרד החקלאות קק"ל רועים בדואים מערכת החינוך תושבי עיירות פיתוח חקלאים צה"ל	השפעה של תיירות, טיילות ורעיית גמלים על המגוון הביולוגי ההשפעה של שינוי האקלים על המגוון הביולוגי אפיון תחושת מקום בקרב קהילות שונות	ניהול שמורת הר הנגב במסגרת שירותי המערכת האקולוגית פיתוח שיטה לחקלאות משמרת קרקע בעמקי הר הנגב ניהול שמורת מכתש רמון – תחנת LTER בנחל גוונים כנסים חוצי תחומים (חולמים עתיד משותף בהר הנגב, רעיית גמלים בהר הנגב)	הכחדת מינים מדבריים סחיפת קרקע שימור מסורת הרועים הבדואים חוסר אחריות סביבתית אזורית
רמת הנדיב	רשויות מקומיות ואזוריות ותושביהן ועדות חקלאיות משרד החקלאות רשות הטבע והגנים חוקרים באקדמיה כבאות והצלה מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט המועצה לבנייה ירוקה קק"ל	ניטור ארוך טווח של סט משתנים בעלי משמעות לניהול הפארק (מ-2003) אוכלוסיית הצבאים בפארק הטבע מיתון הנזקים האקולוגיים של המיינה המצויה מינים פולשים דבורי דבש ודבורי בר השפעת האקלים על תהליכי התחדשות, צמיחה ותמותה ניצול מים ממוחזרים לגידול ערבות למספוא ולרעייה העצמה קהילתית באמצעות מדע אזרחי לימוד והגברת חוויית הטבע של המבקרים ברמת הנדיב	כנסים בין-תחומים (כיבוי שרפות ומניעתן, קונפליקטים בין חיות בר ובני אדם) קידום ותכנון של המסדרון האקולוגי בין רמת הנדיב לרמות מנשה מיפוי קהילתי של היער העירוני בזכרון יעקב ותוכנית לטיפוחו ולהרחבתו ביישוב פיתוח ויישום של מודל חזותי לנוף הפארק העתידי (בתרחישי ניהול שונים) פעולות עיצוביות ושיווקיות להגברת חוויית הטבע של המבקרים	צמצום מדרך הפחמן (למשל פעולות לאיפוס אנרגטי, הפחתת פסולת, גינון בר-קיימא) שמירה על מערכות אקולוגיות בריאות ומתפקדות התומכות במגוון הביולוגי (למשל, התמודדות עם מיני עופות וצמחים פולשים, ממשק למינים בעלי עניין: נדירים, בסכנת הכחדה) העצמת חוויית הביקור ברמת הנדיב, הרחבת הנגישות לקהלים רחבים וחיזוק הקשר לטבע

הישראליות הוא אתגר נוסף. אנו טוענים שהפעלת מסגרות מחקר עם התכונות המפורטות לעיל תוביל למהפך קיימות, והפער בין הידע לגבי קיימות ובין המעשים המחלישים את המערכת החברתית-אקולוגית, ייסגר.

שהמחקר יתקיים בהן, הגדרת המשתנים הסטנדרטיים שיאספו במסגרת הפלטפורמות, ומשאבי האנוש, המומחיות והפעילויות הנדרשים (Holzer and Orenstein, in print). יישום הקריטריונים החדשים האלה בפלטפורמות

מקורות

- Haberl H, Winiwarter V, Andersson K, Ayres RU, Boone C, Castillo A, et al. 2006. From LTER to LTSE: conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. *Ecology and Society*, 11(2), Article 13.
- Hadar L, Orenstein DE, Carmel Y, Mulder J, Kirchhoff A, Perevolotsky A, et al. 2021. Envisioning future landscapes: A data-based visualization model for ecosystems under alternative management scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 215, 104214.
- Holzer JM and Orenstein DE. 2023. Organizational transformation for greater sustainability impact: recent changes in a scientific research infrastructure in Europe. *Landscape Ecology*, In print.
- Holzer JM, Adamescu CM, Cazacu C, Díaz-Delgado R, Dick J, Méndez PF, et al. 2019. Evaluating transdisciplinary science to open research-implementation spaces in European social-ecological systems. *Biological Conservation*, 238, 108228.
- Lang DJ, Wiek A, Bergmann M, Stauffacher M, Martens P, Moll P, et al. 2012. Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. *Sustainability Science*, 7, 25–43 (Suppl 1).
- Lewis SL and Maslin MA. 2015. Defining the Anthropocene. *Nature*, 519, 171–180.
- Orenstein DE, Angelstam P, Dick J, Holzer J, and Sijtsma, F. 2019. Long-Term Socio-Ecological Research Platforms: A Best Practices Handbook. eLTER-Horizon 2020.
- Orenstein DE and Shach-Pinsley D. 2017. A comparative framework for assessing sustainability initiatives at the regional scale. *World Development*, 98, 245–256.
- Ostrom E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419–422.
- Singh SJ, Haberl H, Chertow H, Mirtl M, and Schmid M (Eds). 2013. *Long Term Socio-Ecological Research – Studies in Society-Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales*. Dordrecht: Springer.
- Steffen W, Rockström J, Richardson K, Lenton TM, Folke C, Liverman D, et al. 2018. Trajectories of the Earth system in the Anthropocene. *PNAS*, 115(33), 8252–8259.
- Teschner N and Orenstein DE. 2022. A transdisciplinary study of agroecological niches: understanding sustainability transitions in vineyards. *Agriculture and Human Values*, 32, 33–45.
- בן-משה נ ורנן א (עורכים). 2022. דו"ח מצב הטבע 2022. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- דולב ע ופרבולוצקי א. 2002. הספר האדום של החולייתנים בישראל. רשות הטבע והגנים. ירושלים.
- Apel N and Lahat L. 2021. Example: The partnership for regional sustainability as a collaborative governance arrangement. In: Sher-Hadar N, Lahat L, and Galnoor I (Eds). *Collaborative Governance: Theory and Lessons from Israel*. Palgrave Macmillan. pp. 267–275.
- Avriel Avni N, Holzer J, Shachak M, Orenstein D, and Groner E. 2018. Using transdisciplinary action research. Toward sustainable management in the Negev Highlands. In: TA Mapotse (Ed). *Cross-Disciplinary Approaches to Action Research and Action Learning*. IGI Publisher.
- Avriel-Avni N, Avni Y, Babad A, and Meroz A. 2019. Wisdom dwells in places: What can modern farmers learn from ancient agricultural systems in the desert of the Southern Levant? *Journal of Arid Environments*, 163, 86–98
- Avriel-Avni N, Rofe Y, and Scheinkman FG. 2020. Spatial modeling of ecosystem value to humans: Life supporting systems and human wellbeing. *Society and Natural Resources*, 34(5), 1–18.
- Berthet ET, Bretagnolle V, and Gaba S. 2022. Place-based social-ecological research is crucial for designing collective management of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 55, 101426.
- Colléony A, Levontin L, and Schwartz A. 2020. Promoting meaningful and positive nature interactions for visitors to green spaces. *Conservation Biology*, 34(6), 1373–1382.
- Dick J, Orenstein DE, Holzer JM, Wohner C, Achard AL, Andrews C, et al. 2018. What is socio-ecological research delivering? A literature survey across 25 international LTSE platforms. *Science of the Total Environment*, 622–623, 1225–1240.
- eLTER. n.d1. Integrated European Long-Term Ecosystem, critical zone, and socio-ecological Research. <https://elter-ri.eu>
- eLTER. n.d2. Overview. <https://elter-ri.eu/overview-european-elter>
- Goldreich Y and Karni O. 2001. Climate and precipitation regime in the Arava Valley, Israel. *Israel Journal of Earth Sciences*, 50(2–4), 53–59.
- Grinberger AY. 2019. Weighting the effects of spatial cognition and activity anchors on time-space activity. *The Professional Geographer*, 71(1), 52–64.



הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור שיטים באגני משנה של נחל שיטה

רחל ארמוזה-זבולוני^{1*} | אתי עבאדי^{1,2} | ינאי שלומי¹ | חנן גינת¹ | ניצן שגב¹ | רחמים שם טוב¹

1 מו"פ מדבר וים המלח

2 המכון לארכיאולוגיה ובית ספר ג'ק, ג'וזף ומרטון מנדל ללימודים מתקדמים במדעי הרוח,

האוניברסיטה העברית בירושלים

* rachel@adssc.org

תקציר

גבוהה של גיר וצור. הכיסוי הסלעי תורם ליצירת נגר, ולכן מבטיח את שגשוג השיטים גם בשנים שחונות, כאשר כמות הגשם נמוכה. כשירוד מעט גשם במישורים שאינם סלעיים, יצירת הנגר איטית יותר, וניכר כי במרבית ערוצי המשנה צפיפות השיטים אכן יורדת עם הגדלת שטח הניקוז במעבר האפיק על גבי מישורים לכיוון הערוץ הראשי. כמו כן, מצאנו כי אזורים עם קרקע חרסיתית תורמים לשגשוג השיטים. ככלל, דגם הפיזור של השיטים, הכולל אוכלוסיות מבודדות במעלה ערוצי המשנה, מגדיל את התפוצה הגאוגרפית וצפוי לסייע בשימור השיטים והמגוון הביולוגי הנלווה להן. תוצאות אלה מחזקות את ההבנה שלנו על הקשר בין הפוטנציאל ליצירת נגר ופיזור השיטים באגנים קטנים. התובנות האלה תורמות ליכולתנו להעריך את עמידות השיטים בפני תקופות יובש.

בנחל שיטה יש תחנת מחקר ארוכת טווח המתמקדת בקשר שבין שיטים וזמינות מים שמקורם בגשם ושיטפונות. בתחנה, הממוקמת בערבה הדרומית באקלים צחיח קיצון, מתבצע משנת 2015 ניטור הידרולוגי ואקולוגי הכולל את מגוון המינים הביולוגי, ועצי שיטה בפרט. במחקר הנוכחי בחנו מאפיינים המשפיעים על יצירת נגר ואת אוכלוסיות השיטים בערוצי משנה של נחל שיטה במטרה להבין את הקשר בין פיזור העצים בשטח לפוטנציאל יצירת הנגר באגני ניקוז קטנים. מעקב אחר ירידת גשם והתפתחות זרימות בשנים 2015–2022 אפשר לנו לאפיין את כמות המשקעים הנדרשת ליצירת נגר מקומי על יחידות מסלע שונות ולזרימה בערוצים. כמות הגשם השנתית הממוצעת בשנים 2015–2022 בנחל שיטה הייתה 43 מ"מ, וממוצע ימי הגשם בשנה עמד על 11.1. ב-29% מימי הגשם קיים פוטנציאל ליצירת נגר מקומי, כמות גשם בטווח שבין 3–12 מ"מ. כמות זו אינה מספקת ליצירת זרימה רציפה באגן, אך היא חשובה לשגשוג השיטים בערוצי משנה. דפוס יצירת הנגר משתנה בין יחידות מסלע. נגר עילי באירועי גשם קטנים נוצר במהירות גבוהה על גבי תשתית סלעית של גיר וצור, האופיינית לגבעות הדרומיות והצפוניות במעלה ערוצי המשנה, במקום שעצי שיטה מתבססים ומשגשגים. עצים בראשי האגנים מתבססים בשטח ניקוז קטן בעל אחוז כיסוי

מילות מפתח

אגני ניקוז, אקלים צחיח קיצון, מקדמי נגר, סלעי גיר וצור, עצי שיטה, ערוצי זרימה משניים

מבוא

הקשים שם (אשכנזי, 1995). לרוב הם תלויים בזמינות מים שמקורם בשיטפונות, אם כי ישנן גם עדויות על שימוש במי תהום רדודים (בעיקר בבקעות ובשולי המלחות). שיטים, החיות מאות שנים (Goslar et al., 2013), מוגדרות כמיני מפתח, שמינים רבים של בעלי חיים וצמחים מקיימים איתן יחסי גומלין ותלויים בהן למחייתם (Dean et al., 1999; Hackett et al., 2013). השיטים משמשות מקום מחיה ומקור מזון, ומספקות הגנה, צל ונוטריינטים למגוון קבוצות טקסונומיות. ברחבי הנגב והערבה נפוצים שלושה מינים של שיטה בעלי תפוצה גאוגרפית אופיינית המוכרים כמינים מוגנים: שיטת הנגב (*Vachellia gerrardii*), שיטה סוככנית (*Acacia tortilis*) ושיטה סלילנית (*Acacia raddiana*), שהיא המין הנפוץ בנחל שיטה. לזרעים שמצליחים לנבוט לאחר שיטפונות יש סיכוי נמוך של כ-2.5% לשרוד בשנה הראשונה לאחר הנביטה (Stavi et al., 2015). בזמן זה מערכת השורשים מתפתחת ומגיעה למקור מים שעוזר להם לשרוד בעונה החמה. גם לאחר השנה הראשונה לנביטה אחוז התמותה של פרטים צעירים גבוה, בעיקר בגלל מחסור במים, אך גם בגלל שינויים במבנה האפיק.

התפתחות המערכת האקולוגית סמוך לערוצי הזרימה תלויה בכמות המים הזמינה לעצים לאחר שיטפונות. ככלל, ככל ששטח הניקוז גדול יותר, הספיקות המרביות גדולות יותר, כמו גם נפח הזרימה והמשך שלה (Kampf et al., 2016). אם כך, היינו משערים שצפיפות העצים תגדל במורד הנחל עם גדילה של שטח הניקוז, אך מסתבר שזה אינו המצב. אין מתאם בין צפיפות העצים לשטח הניקוז, ודגם הפיזור של עצי השיטה מורכב ולא ברור. מתצפיות שדה בנחל שיטה נראה כי עצי שיטה מצליחים להתבסס, לשגשג ולשרוד לאורך שנים בערוצי משנה בעלי שטח ניקוז קטן, אך אינם משגשגים במורד ערוצי משנה. אם נבין את היכולת של השיטים לשרוד בערוצי משנה בעלי שטח ניקוז קטן, נגר נמוך, נוכל להעריך את עמידות השיטים לתנאי יובש. נוסף על כך, קיומן של אוכלוסיות שיטים קטנות ומרוחקות בערוצי משנה קריטי לתפוצה הגאוגרפית של השיטים ושל המגוון הביולוגי המלווה אותן. במטרה להבין אילו דגמי פיזור יש לעצים באגני משנה של נחל שיטה, ואילו תנאים משפיעים על פיזורם, ערכנו מחקר שכלל בחינה של פיזור העצים באגני משנה, בחינת הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר באגן הניקוז ובחינת הקשר בין הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר ובין דגמי הפיזור של העצים.

המחקר, המשלב תחומי דעת שונים, מטאורולוגיה, הידרולוגיה, גאולוגיה ואקולוגיה, לא נבנה בצורה היררכית, וברוב המקרים כל תחום דעת עומד בפני עצמו. עם זאת, שילוב התוצאות מאפשר הסתכלות רחבה על הקשר שבין זמינות מים ופיזור עצים.

הערבה והנגב הדרומי מאופיינים באקלים צחיח קיצון הכולל מיעוט משקעים, לחות נמוכה וטמפרטורות גבוהות. שונות רב-שנתית גבוהה בכמות המשקעים, הכוללת תקופות בצורת, מקשה במידה ניכרת על המערכת האקולוגית באזור (Armoza-Zvuloni et al., 2021). באירועי גשם משמעותיים, שיוירד בהם גשם בעוצמה גבוהה, יש סיכוי להתפתחות זרימות ושיטפונות בזק. הזרימה בשיטפונות בזק קצרת מועד, מתפתחת במהירות ובעלת ספיקה גבוהה (Belachsen et al., 2017).

שיטפונות בזק התרחשו בערבה הדרומית בתדירות של 1.5 פעמים בשנה בממוצע בשנים 2017–2022 (המרכז לחקר שיטפונות במדבר, 2023). באירועים אלה חלק מהנגר העילי 'אובד' במהלך הזרימה (איבודי תמסורת) – הוא מחלחל לתוך התשתית במדרונות ובאפיקי הנחלים, והגשם העודף זורם לעבר שפך הנחל (Schwartz, 2016). כמות הנגר ביחס לכמות גשם בשטח מסוים מבטאת במקדם הנגר, המחושב באחוזים, ונקרא גם אפקטיביות הגשם (מקדם נגר גבוה משמעותו יותר נגר עילי ופחות חלחול). דפוס יצירת הנגר משתנה בין יחידות מסלע שונות, ומושפע ממשתי הקרקע וממשתני פני השטח, כמו חספוס, שיפוע, מיקרו-טופוגרפיה, כיסוי אבני וקרומים (גרינבאום ושות', 2003).

למרות השפעות של משתני פני השטח, נמצא כי תשתית סלעית של מסלעים שונים מאופיינת במקדמי נגר גבוהים (86%–51) ביחס לשטח המדרון המכוסה סלע מכורק וכולל אבנים וסלעים (קולוביום) של אותו מסלע (44%–26) בהתבסס על ניסויי המטרה בעוצמת גשם של 60 מ"מ לשעה (גרינבאום ושות', 2003). גם במחקר שהתבסס על אירועי גשם טבעיים בערבה הדרומית נמצאו מקדמי נגר גבוהים בחלקות נגר על גבי משטחי סלע ביחס לשטח מדרוני של אותו מסלע (מאירי ושות', 2021; Yair et al., 2021).

מאפייני הזרימה ותהליכי התחרות מעצבים את מבנה אגני הניקוז, כך שערוצי משנה מתמזגים לערוץ מסדר גבוה יותר. במקרים רבים, כאשר שיפוע הערוץ מתמתן והערוץ רחב מספיק, הזרימה מתפצלת למספר ערוצים מקבילים בדפוס זרימה שנקרא דגם פְּזוּרָה (braided stream). עם הגדלת השיפועים והיצרות מחודשת של האפיק תחזור הזרימה לדגם אחיד (רון, 1979). הנגר המחלחל לתוֹך הלא רווי באפיקי הנחלים הוא מקור המים העיקרי למערכת האקולוגית שמתפתחת באופן בלעדי סמוך לערוצי הזרימה באקלים צחיח קיצון. התפתחות הצמחייה תלויה בתהליכי יצירת הנגר אך גם בחלחול.

עצי שיטה הם העצים הדומיננטיים בערבה ובנגב הדרומי, ולמעשה רק הם ועצי האשל מצליחים לשרוד בתנאי האקלים

שיטות

זרימה, P – זרימה חלקית (זרימה בחלק מהערוצים או בחלק אחד של האגן, מערבי או מזרחי), Y – זרימה רציפה (זרימה בכל אגן הניקוז). כמו כן, ביצענו חישובים של מקדמי נגר על גבי חלקות נגר קטנות.

מקדמי נגר בחלקות נגר קטנות – מקדמי הנגר בשלוש חלקות קטנות בנחל שיטה נבחנו מאז 2017 באירועי גשם שירדו בהם יותר מ-3 מ"מ. כל אחת משלוש חלקות נגר הוקפה במסגרת עשויה פח שהושקעה בתוך התשתית עד לעומק 10 ס"מ. גודל כל חלקה נקבע ל-4 מ"ר, והן מוקמו על גבי שלוש יחידות שונות (תצורות מישאש ומנוחה, קולוביום של מישאש, מישורי רג). חלקות הנגר נבחרו לאחר שאזורים נרחבים נבחנו והשוו, במטרה לייצג את יחידות המסלע באגן נחל שיטה. בגלל השונות הטבעית בחספוס, בשיפוע, בכיסוי האבני ובמכנה, החלקות הקטנות אינן יכולות לייצג את כל משתני פני השטח שיש באגן. עם זאת, החלקות מצביעות על הפוטנציאל לדפוסים שונים ביצירת הנגר על גבי מסלעים שונים. מד הגשם שרושם ומשדר מוקם במרחק של 100–130 מטר מהחלקות, ובאמצעותו חושבה עוצמת הגשם לאורך האירוע. כדי להתמודד עם השונות המרחבית הגבוהה בתפרוסת הגשם ולהגדיל את הדיוק בחישוב מקדמי הנגר הותקן גם מד גשם נוסף צמוד לחלקות הנגר. מד הגשם הנוסף סיפק מדידה של כמות הגשם באירועים, ובעזרתה חושבו כמויות הנגר בחלקות. מקדמי הנגר מחושבים על ידי חלוקה של כמות הנגר בחלקה בכמות הגשם הכללית על גבי אותה חלקה. הנגר נאסף במכל ונמדד בסוף האירוע. כמות הגשם בחלקה מחושבת באמצעות הכפלה של כמות הגשם שירדה בשטח החלקה.

אפיון דגמי הפיזור של שיטים

סקר שדה למיפוי השיטים – כל השיטים באגני המשנה אותרו ומופו באמצעות סקר רגלי מקיף במהלך אפריל עד יוני 2022 ובאמצעות צילום ותיעוד בתוכנת Fulcrum. מדדים שנאספו בשדה כללו מיקום ומצב חיות (חי/מת). הגדרת עץ מת נעשתה לפי קריטריונים של היעדר עלווה, מצב הגזע (התקלפות, שבירה, יובש, שינוי בצבע) וחורים בגזע מפעילות של חרקים. נוסף על כך, במעלה כל ערוץ משנה זוהה העץ הראשון בערוץ. באמצעות ממ"ג (GIS) ותצלום אוויר של נחל שיטה שויך כל עץ לערוץ משנה ולתת-ערוץ משנה. בסך הכול זוהו 20 ערוצי משנה, ותועדו 561 עצי שיטה. מכיוון שעצי שיטה מארכי חיים, השינויים במבנה האוכלוסייה איטיים מאוד, ולכן אנו מניחים שמה שמתועד בסקר אינו מצב זמני.

צפיפות העצים לאורך ערוצי משנה – צפיפות העצים חושבה באמצעות יישומי ממ"ג לפי מספר העצים הנמצאים ברדיוס של 200 מטר מכל עץ. צפיפות העצים נבדקה עבור

אתר המחקר – תחנת LTER נחל שיטה

נחל שיטה נמצא בערבה הדרומית, כ-70 ק"מ צפונית לאילת. מצפון לו משתרעת שלוחת נוצה (263 מטר מעל פני הים), המהווה את קו פרשת המים בין הנחלים המתנקזים דרומה למלחת יטבתה, לבין אלה הזורמים צפונה לעבר ים המלח. אורכו של הערוץ המרכזי של נחל שיטה הוא כ-8 ק"מ ממערב למזרח, וערוצי המשנה מתנקזים לנחל מצפון ומדרום. השיפועים בנחל מתונים, והוא מתחתך בתוך עמק רחב ידיים בדגם פזרות. בשיאו מגיע העמק לרוחב של 3 ק"מ, שאינו אופייני לנחל בעל אגן ניקוז קטן. מאפייני הקרקע בשולי האגן, מדרום ומצפון: א. גבעות עם מסלע קשה של גיר וצור (בעיקר מתצורת מישאש ומעט מתצורת מנוחה שהיא דקה ונחשפת באזורים מועטים); ב. מדרונות של הגבעות הסלעיות (שהן תצורות מישאש ומנוחה) המכוסות סלע מפורק (קולוביום) שמתחתיו סלע אבן; ג. החלק העיקרי והמישורי של הנחל מאופיין בקרקע מישורית המכוסה שברי סלעים (מישורי רג); ד. במרכז האגן לכיוון מזרח, ישנה קרקע חרסיתית אדומה (תצורת צחיחה, Ginat et al., 2002). מתוך שטח אגן הניקוז (18 קמ"ר) הכיסוי של יחידות המסלע הוא: 32% סלעי גיר וצור, 11% קרקע חרסיתית אדומה ו-57% אפיקים ומשטחים של קרקע מישורית המכוסה שברי סלעים. הגבעות והמדרונות אינם מכוסים בצמחייה או בקרומי קרקע בשל האקלים היובשני. נחל שיטה נשלט ברובו על ידי שיטה סלילנית. נוסף על כך, ישנם עצי שיטת הנגב ושיטת מכלוא (תוצר רבייה לא פורה של שיטה סלילנית ושיטת הנגב), אם כי בצפיפות נמוכה (שיפריין, 2021).

בחינת הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר

כמות הגשם – כדי לאפיין את כמות הגשם בנחל שיטה בתקופות זמן שונות נאספו נתוני גשם באמצעות מד גשם רושם ומשדר בצורה עקבית במהלך שבע שנים, 2015–2022. מנתוני הגשם ריכזנו את כמות הגשם היומית והשנתית ואת עוצמת הגשם המרבית באירוע (ביחידות של מ"מ לשעה). כמו כן, יצרנו התפלגות של כמות הגשם היומית כדי להעריך את אחוז הימים הגשומים שיש בהם פוטנציאל ליצירת נגר באגן.

אירועי גשם ושיטפונות – לאורך השנים מתבצעים מעקב וניטור אחרי גשם ושיטפונות באירועים שיש בהם פוטנציאל ליצירת נגר. ניטור שיטפונות מתבצע באמצעות חיישני לחץ המוצבים בערוצים המתעדים את גובה הזרימה, מועדה ומשכה בחלק המערבי והמזרחי של האגן. תוצאות אלה אינן מוצגות במלואן במאמר זה, אך מתוכן אפיינו את הזרימה עבור כל אירוע באמצעות שלוש קטגוריות: N – לא תועדה

המסלע של שטח הניקוז אופיין באמצעות מפה גאולוגית של אגן נחל שיטה והשוואתה לתצלומי אוויר ולמיקום העץ הראשון.

עצים חיים ועצים מתים בנפרד. ההתייחסות במאמר היא רק לעצים החיים.

בחינת הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור העצים

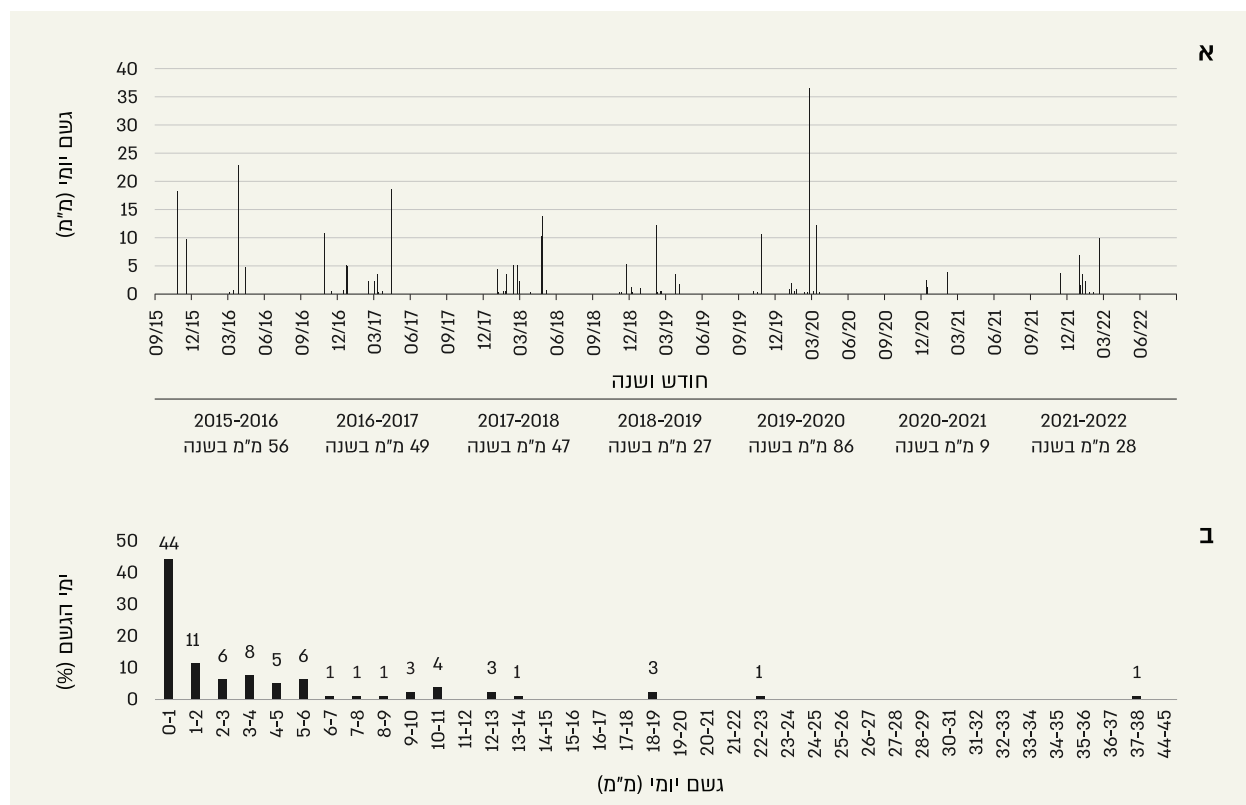
פיזור העצים ביחס לשטח הניקוז – עבור כל עץ חי שבנו את השטח המתנקז אליו. יצרנו שכבת הצטברות זרימה בממ"ג בעזרת DEM באמצעות יישום flow accumulation, המתארת את שטח הניקוז עבור כל פיקסל באגן הניקוז. שטח הניקוז עבור כל עץ נקבע בעזרת מיפוי העצים באגן ומתוך שכבת הצטברות הזרימה: שטח הניקוז אל העץ הוא הערך המרבי של שטח התנקזות בפיקסל קרוב אליו.

אפיון מסלעי של שטח הניקוז עד העץ הראשון במעלה הערוץ – בנייתו הזו הסתכלנו על מיקום העצים הראשונים – הזקוקים לשטח הניקוז הקטן ביותר – במעלה הערוץ בכל ערוץ משנה, ובחנו את מאפייני המסלע של השטח המתנקז אליהם. הקיום של העצים במעלה ערוצי המשנה מעיד כי התנאים במקום טובים מספיק להתבססות עצים. כיסוי

תוצאות

הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר

גשם – לאורך שבע שנות מדידה היו בנחל שיטה 79 ימי גשם, ובממוצע 11 ימי גשם בשנה. כמות הגשם הממוצעת היא 43 מ"מ בשנה וטווח המדידות הרב-שנתיות היה 9–86 מ"מ (איור 1א). כשבוחנים את התפלגות הגשם לפי כמות גשם יומית מגלים כי ברוב הימים הגשומים ירד מעט גשם, ובמספר מועט של ימים ירדו כמויות גשם גבוהות (איור 1ב). במהלך שבע שנים בין 2015–2022 רק בשבעה ימים ירדו יותר מ-12 מ"מ גשם (7 מתוך 79 ימי גשם, כלומר 9%), בשמונה ימים ירד גשם בטווח שבין 6–11 מ"מ גשם (10%), וב-15 ימים ירדו בין 3–5 מ"מ גשם (19%), ב-14 ימים ירדו בין



איור 1

כמות משקעים רב-שנתית לאורך שבע שנים הידרולוגיות בין 2015–2022

א. גשם יומי לאורך שבע שנות מדידה במד גשם רושם בנחל שיטה. העונות הגשומות (שכוללות את החודשים שבין אוקטובר למאי) מופיעות מתחת לציר הזמן כשמתחתן מופיעה כמות המשקעים השנתית (ביחידות של מ"מ לשנה הידרולוגית); ב. התפלגות כמות הגשם היומית מתוך 79 ימי הגשם בנחל שיטה בשנים 2015–2022. העמודות והמספר מעליהן מייצגים את אחוז הימים מתוך 79 שירד בהם גשם בכמות מעל טווח המדידה (1 מ"מ).

נמדדו מקדמי נגר נמוכים ברוב המקרים. בחלקה המייצגת את מישורי הרג כמות הנגר הייתה בדרך כלל נמוכה באירועי גשם קטנים של 3-5 מ"מ, ועמדה על 4% נגר בממוצע. באירועי גשם של 6-11 מ"מ גשם כמות הנגר הייתה בממוצע 15.5% נגר. באירועי גשם משמעותיים עם כמות גשם גבוהה של 13-45 מ"מ, כמות הנגר על מישור הרג הייתה הגבוהה ביותר מבין החלקות והגיעה בממוצע ל-52%.

פיזור שיטים בערוצי משנה

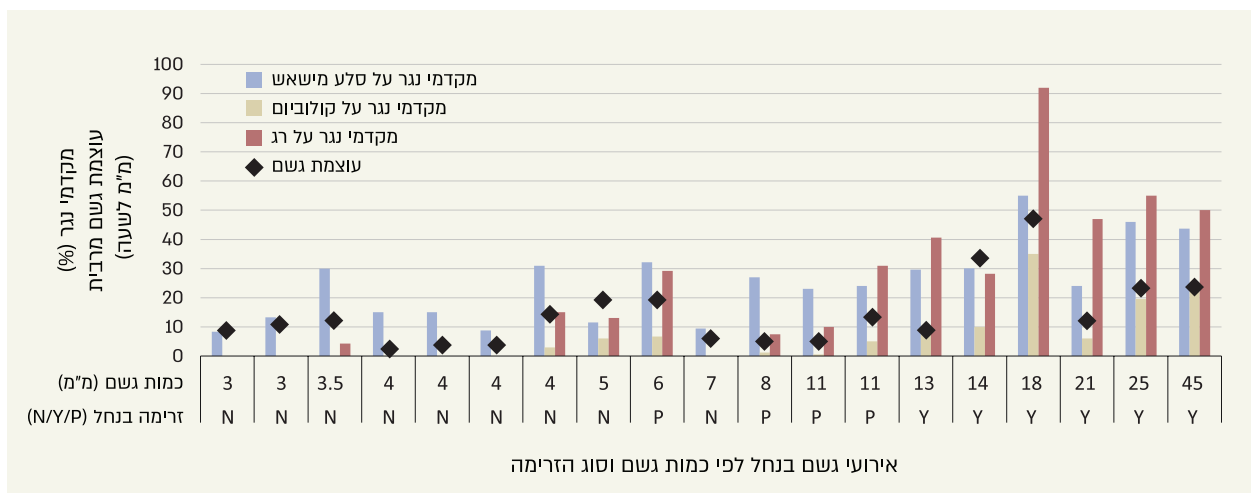
במטרה לאפיין ולמפות את כל אוכלוסיית העצים ערכנו סקר שדה בנחל שיטה. חיפשנו ותיעדנו את כל עצי השיטה בכל ערוצי המשנה של הנחל, כולל בדגמי הפזרות במורדות הערוצים ובמדרונות המשופעים במעלה הערוצים (איור 3). בכל ערוץ משני סומנו העצים הראשונים במעלה הערוצים. הנוכחות והמיקום של העצים במעלה הערוצים מצביעים על כך שזמינות המים במקום מאפשרת התפתחות שיטים. זמינות המים מושפעת משטח הניקוז של האגן ומהיכולת שלו ליצור נגר.

בסך הכול מיפנו ואפיינו 561 עצי שיטה: 373 עצים חיים ו-188 עצים מתים. מיקומי העצים היו צמודים לערוצי המשנה או סמוכים אליהם. 17 עצים הופיעו בסמיכות לשביל עפר שחוצה את אגן הניקוז מדרום-מזרח לצפון-מערב. ניתן לראות את מיקום שביל העפר באיור 3. העצים הסמוכים לדרך הוחסרו מניתוח הצפיפות. בחלק גדול מערוצי המשנה הופיעו העצים הראשונים

1-3 מ"מ גשם (18%), וב-35 ימים ירד פחות מ-1 מ"מ גשם (44%).

יצירת נגר באירועי גשם וזרימה – במהלך שנות המדידה עקבנו אחרי אירועי גשם וזרימה בנחל שיטה, תיעדנו את מועדי השיטפונות, וחישבנו מקדמי נגר על גבי חלקות נגר קטנות. באירועי גשם קטנים של 3-5 מ"מ לא תועדו כלל זרימות בנחל. בכמות משקעים של בין 6-11 מ"מ תועדו זרימות חלקיות שנוצרו בחלק אחד של אגן הניקוז ולא הצליחו להתפתח לכל אורכו, או זרימות שתועדו רק בערוצי משנה ולא תועדו בערוץ הראשי. באירועי גשם משמעותיים של 13 מ"מ גשם ויותר תועדו זרימות רציפות לאורך כל ערוץ הנחל (איור 2). מקדמי הנגר על גבי חלקות הנגר הקטנות הראו דפוס כללי דומה. כשכמות הגשם הייתה נמוכה, רק בחלק מהחלקות נוצר נגר, בעוד שבכמות גשם גבוהה יותר, נמדדו מקדמי נגר בכל החלקות. נמצא מתאם בין מקדמי הנגר לעוצמת הגשם המרבית באירוע (איור 2).

חלקות הנגר נבדקו באירועים שירדו בהם 3 מ"מ גשם ומעלה. לכל אחת מחלקות הנגר היה דפוס שונה של יצירת נגר. על גבי חלקת הנגר שממוקמת על סלע סדוק (תצורת מישאש) נמדדו מקדמי נגר בכל אירועי הגשם. באירועי גשם של 3-5 מ"מ נמדדו בממוצע 16.6% נגר. באירועי גשם של 6-11 מ"מ נמדדו בממוצע 23.1% נגר. באירועי גשם של 13-45 מ"מ גשם נמדדו בממוצע 38.1% נגר. בחלקת נגר שממוקמת עם גבי מדרון המכוסה סלע מפורק (קולוביום)



איור 2

מקדמי נגר וזרימות באירועי גשם בנחל שיטה

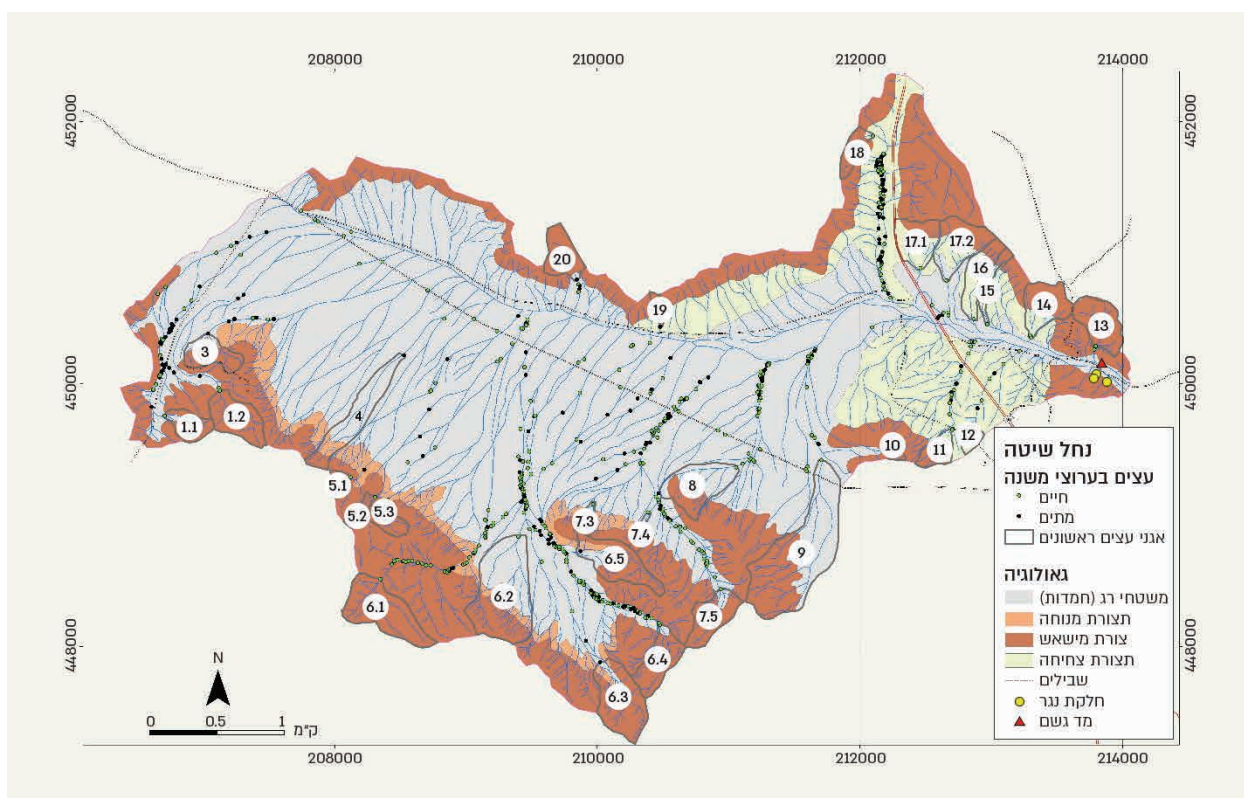
תיעוד כמויות גשם, עוצמות גשם מרביות, זרימות ומקדמי נגר באירועי גשם. אירועי גשם משמאל לימין מופיעים לפי כמות גשם באירוע (במ"מ). מתחת לכמות הגשם מופיעה מידת הזרימה השיטפנית בשלוש קטגוריות: ללא זרימה (N), זרימה בחלק מערוצי הזרימה (P), זרימה רציפה (Y). בכל אירוע מופיעה עוצמת הגשם המרבית במהלך 10 דקות (מעין שחור) ומקדמי הנגר שנמדדו בשלוש חלקות נגר קטנות הממוקמות כל אחת על מסלע אחר (סלע מישאש, קולוביום של מישאש ומישורי רג).

הגיר והצור ובמישורי הרג (ערוצי משנה 1, 5, 6, 7, 8, 9), וארבעה מהם (ערוצי משנה 11, 12, 17, 18) בחלק המזרחי בערוצים שמתחתרים בחרסית האדומה (איור 4). כדי להבין את דגם הפיזור של עצי השיטה בחנו את השינויים בצפיפות העצים (מספר העצים ברדיוס של 200 מטר מכל עץ) לאורך הערוץ ביחס לשטח הניקוז בקרבת העצים, והבחנו במספר דגמי פיזור. בערוצי המשנה המערביים (1, 5, 6, 7, 8 ו-9) צפיפות העצים במעלה הערוץ נמוכה. הצפיפות עולה ככל ששטח הניקוז גדל, אך בשלב מסוים הצפיפות יורדת, אף על פי ששטח הניקוז מגדול. העצים חוזרים להופיע רק כששטח הניקוז גדל מאוד, כשמספר ערוצי משנה מתמזגים. לעיתים זה קורה סמוך לערוץ המרכזי (כמו בערוצי משנה 5, 8 ו-9), ולעיתים זה קורה במרכז הערוץ (כמו בערוצי משנה 1, 6, 7). בערוצי משנה בחלק המזרחי של האגן (ערוצי משנה 11, 12, 18) העצים לרוב פזורים בצורה אחידה לאורך כל הערוץ, עד הערוץ המרכזי. צפיפות העצים לא משתנה עם העלייה בשטח הניקוז. בערוץ 18 לשני העצים הראשונים יש שטח

בערוצים מסדר שני ושלישי, שהתחתרו סמוך לגבעות הסלעיות של צור וגיר (בחלק המערבי), או בערוצים שהתחתרו בתשתית החרסיתית האדומה (בחלק המזרחי). בסך הכול נמצאו 28 עצים במעלה ערוצי המשנה ותתי-ערוצי המשנה, השייכים ל-19 ערוצי משנה (לחלק מערוצי המשנה, כמו ערוץ 6, יש מספר תתי-ערוצים 6.1, 6.2, 6.3, שבכל אחד מהם עץ ראשון במעלה הערוץ). בערוץ משנה 19 נמצא עץ אחד מת. ערוץ משנה 2 נמצא כלא מתאים לניתוח והוחסר.

הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור העצים

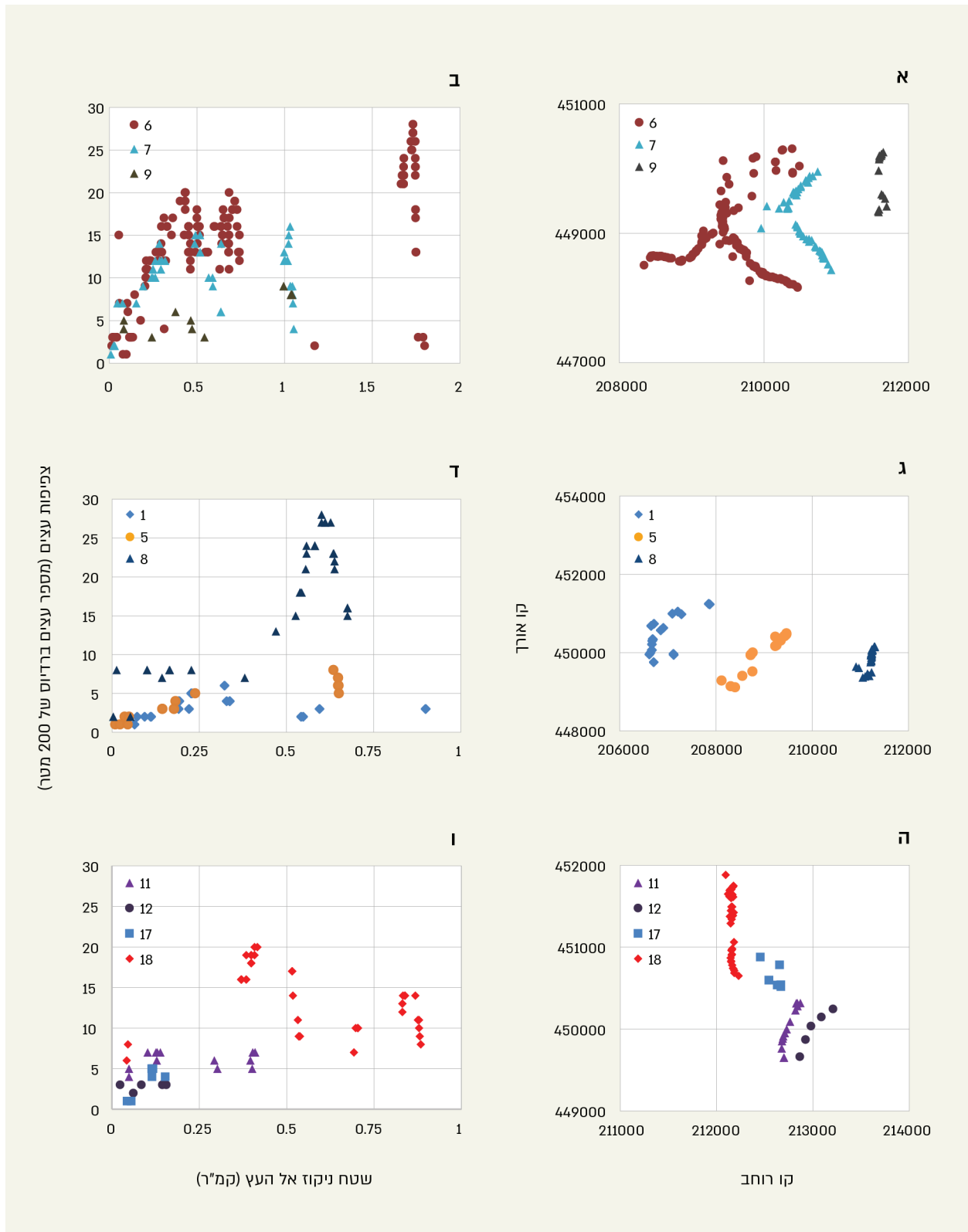
מתוך 18 ערוצי משנה שנמצאו בהם עצים חיים, בשמונה ערוצים נמצאו בין עץ אחד לארבעה עצים חיים (ערוצי משנה, 3, 4, 10, 13, 14, 15, 16, 20). ארבעה מהם בחלק המזרחי בערוצים שמתחתרים בתשתית חרסיתית אדומה, וארבעה בערוצים שמתחתרים בסלעי הצור והגיר ובמישור הרג. ביתר עשרת הערוצים נמצאו יותר מחמישה עצים חיים. שישה מהם נמצאים בערוצים שמתחתרים בגבעות



איור 3

שיטים בערוצי משנה של נחל שיטה על גבי מפה גאולוגית וסימוני הערוצים

בערוצי משנה מופו במהלך סקר שדה 561 עצים, והעצים בראשי ערוצי המשנה, ובמקרה הצורך גם בתתי-הערוצים שלהם, סומנו. עבור כל עץ ראשון בערוץ משנה ובתתי-הערוצים שלו חושבו שטח הניקוז (פוליגונים אפורים) ומאפייני המסלע של השטח. במפה הושמטו בכוונה כל העצים בערוץ המרכזי. כמו כן, המאמר עוסק בפיזור העצים החיים בלבד, בעוד שבמפה מופיעים גם העצים המתים. המספר מציין את ערוץ המשנה, ואחרי הנקודה העשרונית מצוינים תתי-הערוצים שלו.



איור 4

פיזור העצים לאורך ערוצי משנה של נחל שיטה

א, ב, ג: מיקום העצים בכל ערוץ משני על פי מיקומם ברשת ישראל (קואורדינטות XY). כל ערוץ משני מסומן בצבע ובצורה אופייניים; ד, ה, ו: צפיפות העצים ביחס לשטח הניקוז עבור על עץ בערוצי משנה. א, ב, ד, ה: ערוצי משנה שמתחתרים בחלק המערבי בגבעות הגיר והצור, ובמורד במישורי הרג; ג, ו: ערוצים שמתחתרים במזרח, תחילה בגבעות גיר וצור קשות, ובמורד בחרסית האדומה.

המזרחיים יותר מאופיינים בתשתית של סלעי גיר וצור, ובמורדם יש בעיקר קרקע חרסיתית אדומה. בערוצים אלה שטח הניקוז אינו שונה, והוא 0.065 קמ"ר בממוצע (נע בין 0.016–0.125 קמ"ר, איור 5א). עם זאת, אחוז השטח הסלעי מכלל שטח הניקוז אל העצים הראשונים במעלה הערוץ שונה בשני האזורים. בחלק המזרחי של נחל שיטה שקיימת בו קרקע חרסיתית אדומה, אחוז הכיסוי הסלעי מכלל שטח הניקוז אל העץ הראשון במעלה הערוץ נמוך (29%±43) בהשוואה לזה של האגנים המערביים (23%±81, איור 5ב).

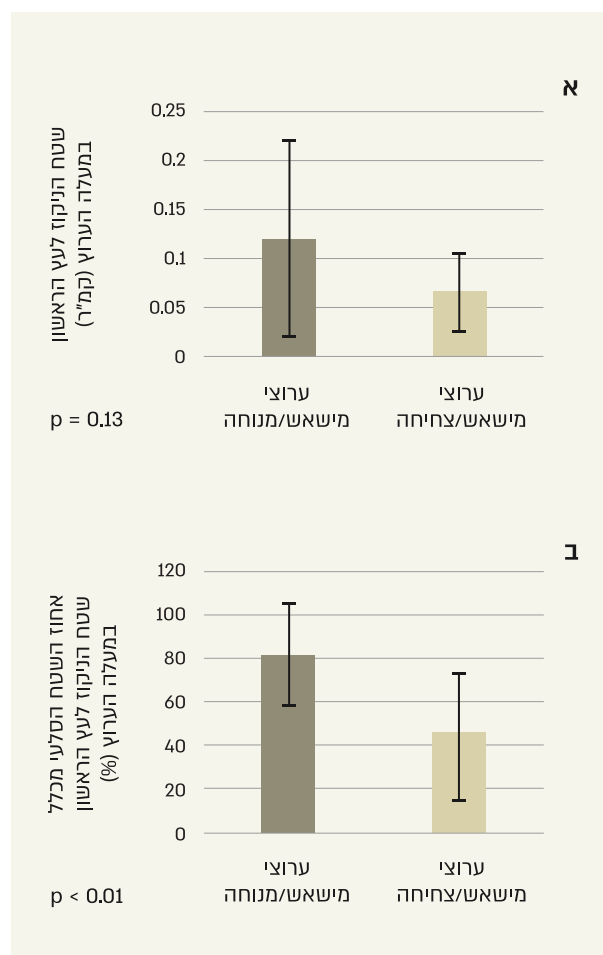
דין

בתחנת מחקר וניטור ארוך טווח (LTER) באגן נחל שיטה נבדק הקשר שבין עצי שיטה וזמינות מים שמקורם בגשם וביטיפונות בזק. במחקר הנוכחי השתמשנו בנתונים מטאורולוגיים, הידרולוגיים, גאולוגיים ואקולוגיים כדי לבסס את הקשר שבין פיזור העצים בערוצי משנה ופוטנציאל ליצירת נגר באירועי גשם קטנים. בעוד שעצי שיטה בערוץ המרכזי הניח מזרימות שיטפונות שמקורן בחלקים שונים של האגן, עצים בערוצי משנה תלויים ביכולת של האגן ליצור נגר מקומי וביכולת שלו לאגור את המים באפיק הנחל לאורך זמן כדי שיהיו זמינים להתפתחות הצומח. היכולת ליצור נגר באירועים קטנים מגדילה את הסיכוי של השיטים לשרוד לאורך זמן, גם בשנים שחונות שמתרחשים בהן אירועי גשם קטנים. במעקב אחרי ירידת הגשם באגן ואירועי זרימה מצאנו כי מתוך 79 ימי גשם במהלך שבע שנות מדידה, רק ב-9% מימי הגשם יש פוטנציאל לזרימה רציפה שתכלול את כל ערוצי הזרימה (בממוצע יום אחד בשנה עם יותר מ-13 מ"מ). עם זאת, ישנו מספר גדול של ימים שיוּרד בהם גשם באגן נחל שיטה, והם בעלי פוטנציאל ליצירת נגר מקומי (29% מימי הגשם שיוּרדים בהם 3–12 מ"מ).

בדומה למחקרים אחרים (גרינבאום ושות', 2003; מאירי ושות', 2021; Yair et al., 2021), גם במחקר זה מצאנו דפוסים שונים של יצירת נגר על גבי מסלעים שונים ובין תשתית סלעית לתשתית מדרונית. נגר עילי נוצר מהר ובהיקף גבוה על גבי תשתית סלעית באירועי גשם קטנים של 3 מ"מ ויותר, והמקדם המרבי ביצירת הנגר על גבי המסלע הגיע ל-55% באירוע טבעי. בחלקת המדרון הכוללת סלע מפורק, מצאנו מקדמי נגר נמוכים יותר מאשר בשתי החלקות האחרות. בהשוואה לסלע הסדוק, על גבי מישור הרג מקדמי הנגר היו נמוכים יותר באירועי גשם קטנים של 3 מ"מ, אך באירועים של 11 מ"מ גשם ומעלה נוצרה על גבי מישור זה כמות נגר גבוהה יותר, ואחוזי הנגר עלו כתלות בעוצמה ובכמות של הגשם. במחקר שנערך בעזרת ממתיר גשם על גבי מישורי רג, נמצא כי מקדמי הנגר גדלים בהתאם לעוצמת הגשם

ניקוז קטן מאוד, והם נמצאים במעלה בצפיפות נמוכה, בעוד שיתר העצים פזורים בצורה אחידה עד הערוץ המרכזי. בערוץ 17 ישנם שני עצים במעלה הערוץ, ויתר העצים צומחים לפני ההתמזגות עם הערוץ המרכזי.

בנחל שיטה נמצאו 28 שיטים שהתבססו במעלה ערוצים מסדר שני ושלישי (עצים ראשונים בערוץ). במטרה להבין אילו תנאים מאפשרים התפתחות של שיטים במעלה ערוצי משנה אפיינו את שטח הניקוז ואת מאפייני המסלע בשטח התורם עבור כל העצים הראשונים (איור 5). בערוצי המשנה המערביים של נחל שיטה המאופיינים בתשתית מסלע של גיר וצור, שטח הניקוז עבור 19 עצים ראשונים בערוץ הוא בממוצע 0.12 קמ"ר (בין 0.016–0.421 קמ"ר). ערוצי המשנה



איור 5

מאפייני שטח הניקוז לעצים הראשונים במעלה ערוץ

א. גודל שטח הניקוז (קמ"ר) לכל עץ ראשון במעלה הערוץ; ב. אחוז השטח הסלעי מכלל שטח הניקוז לעץ הראשון. בעמודות מוצגת השוואה בין שני סוגי אגנים: בחלק המערבי יש במורד מישורי רג (עמודות כהות), ובחלק המזרחי יש במורד קרקע חרסיתית (עמודות בהירות). עצים ראשונים במעלה הערוץ והשטח המתנקז אליהם, כמו גם המפה הגאולוגית, מוצגים באיור 3.

להעריך מהם מקורות המים הזמינים לשיטים (Sher et al., 2010; Winters et al., 2015), ומחקרים אקו-פיזיולוגיים נערכו כדי להעריך את עמידות השיטים ליובש (Winters et al., 2018; Uni et al., 2022). למחקרים אלה ואחרים חשיבות רבה להבנת יכולת העמידות של עצי השיטה בפני תנאי יובש.

במספר מחקרים שבחנו את אוכלוסיית השיטים ביחס למאפיינים הפיזיים של אגן הניקוז וערוצי הזרימה, נמצא כי עצי השיטה בקרבת הערוץ גדולים יותר ובעלי קצב גידול גבוה יותר בהשוואה לעצי השיטה על גבי מישורי הרג, ככל הנראה בשל זמינות מים גבוהה באפיק (Lahav-Ginott et al., 2001). עם זאת, לא נמצא מתאם בין תמותת עצים וגודל אגן הניקוז או מיקומו של העץ בבתי גידול לרוחב האפיק (Stavi et al., 2014). כמו כן, תהליכים מרחביים הידרולוגיים ארוכי טווח תועדו באמצעות מאפייני מיקום, גודל ובריאות העצים בנחל קטורה (Isaacson et al., 2017). נוסף על כך, נמצא כי שיטים שהתבססו קרוב יותר למדרונות, הצליחו לשרוד תקופת יובש באחוזים גבוהים יותר, ככל הנראה בזכות תרומה של נגר ממדרונות באירועי גשם (Armoza-Zvuloni et al., 2021).

בהתאם לדפוס יצירת הנגר, פיזור השיטים אינו אחיד לאורך ערוצי המשנה. בערוצים המערביים יותר בנחל שיטה השיטים מתבססות במעלה ערוצים מסדר שני ושלישי שמתחתרים בתוך תשתית סלעית. תחילה, ככל ששטח הניקוז עולה, גם צפיפות העצים עולה. בשלב מסוים הצפיפות יורדת, והעצים נעלמים למרות התרחבות שטח הניקוז. לרוב העצים נעלמים בערוצי המשנה באפיקים המתחתרים על גבי מישורי הרג. סיבות אפשריות לירידה בצפיפות העצים עם העלייה בגודל אגן הניקוז, נוסף על יצירת נגר נמוכה, הן ירידה בזמינות המים הקשורה לאיבודי תמסורת (איבודי נגר לתווח הלא רווי) במעלה הערוץ ומעבר מזרימה בערוץ יחיד לזרימה בדגם פזרות, כך שנגר הנוצר במעלה חודר לתת-הקרקע, ולא מגיע לזרימה למורד. איבודי תמסורת בתחתית המדרון (Yair and Raz-Yassif, 2004) ובמורד הערוץ במעבר בין ערוצי משנה לערוצים ראשיים יותר (Kampf et al., 2018) יכולים להסביר את צפיפות העצים במעלה האגנים ואת הירידה בצפיפות עם התרחבות שטח הניקוז.

בחלק המזרחי של נחל שיטה יש תשתית מסלע שונה בפני השטח, המאופיינת בגבעות גיר וצור שמתחתיהן יחידה חרסיתית אדומה. באזור זה פיזור העצים לאורך ערוצי המשנה אחיד עד הגעה לערוץ המרכזי, וגם ערוצי המשנה קצרים יותר ושומרים על דגם אחיד עד הערוץ המרכזי. באפיון התנאים המאפשרים התבססות של עצים ראשוניים

ולגילם הגאולוגי של המישורים (הקדומים יצרו יותר נגר מהצעירים), והם יצרו כ-70% נגר בעוצמת המטרה של 76 מ"מ לשעה (Greenbaum et al., 2020).

חשוב לציין כי חלקות הנגר שנבדקו במחקר זה אינן יכולות לייצג את כל מאפייני המסלעים ומשנתני פני השטח שיש באגן נחל שיטה. עם זאת, החלקות כן מצביעות על הפוטנציאל לדפוסים שונים ביצירת הנגר על גבי סוגי מסלע שונים.

ביחס למעבר בין סדרי גודל, נמצא כי מקדמי נגר משתנים בצורה משמעותית כתלות בגודל השטח הנבדק. כשנבחנו מקדמי נגר באירועים טבעיים על גבי חלקות נגר במדרון בהר הנגב נמצא כי עם העלייה בגודל החלקות, מקדמי הנגר יורדים בשל כיסוי אבני עבה וקרקע מפותחת שגרמו לאיבודי תמסורת בתחתית המדרון (Yair and Raz-Yassif, 2004). במחקר שנערך בדרום-מערב אריזונה באקלים צחיח קיצוני נמצא כי סף הגשם ליצירת זרימה נמוך בערוצי משנה ביחס לערוץ ראשי, וכי תדירות הזרימות גבוהה יותר בערוצי משנה ביחס לערוצים מרכזיים בגלל כיסוי סלעי והיעדר קרקע מפותחת (Kampf et al., 2018). מכאן אנו מסיקים שיצירת הנגר באגן נחל שיטה אינה אחידה בשטחי אגן הניקוז. האזור הסלעי של גיר וצור קשים בחלק הדרומי והצפוני של אגן נחל שיטה יצר נגר במהירות וביעילות גבוהה יותר באירועי גשם קטנים. המדרונות האבניים יצרו נגר ביעילות נמוכה, בעוד שהאזורים המישוריים במרכז האגן, מישורי הרג, יצרו נגר כאשר כמות הגשם ועוצמתו היו גבוהים. באירועי גשם גדולים וחזקים יש למישורי הרג יכולת גבוהה ביצירת נגר, יותר מזו של התשתית הסלעית. מקדמי נגר גבוהים על גבי מישורי הרג באירועים גדולים הם, ככל הנראה, המקור לזרימות החזקות בשיטפונות. ניתן להעריך שבהינתן רצף של שנים ברוכות במשקעים, עצים יתבססו בתוך ערוצים החוצים את מישורי הרג בצפיפות גבוהה, ויאפשרו קשר רציף בין אוכלוסיות מבודדות של שיטים במעלה האגנים לאוכלוסיית העצים המרכזית בערוץ הראשי. רצף שנים שחונות יקשה על עצים בערוצים בין מישורי הרג לשרוד בגלל יצירת נגר נמוכה.

עצי שיטה מהווים מוקד למחקר ולניטור בערבה ובנגב בשל היותם מיני מפתח והעצים הדומיננטיים בכל המרחב, שמשמשים סמנים ביולוגיים (bioindicators) למצב המערכת האקולוגית המדברית (פלד, 1988; אשכנזי, 1995). מחקרים רבים בחנו את אחוזי התמותה של אוכלוסיות השיטים בעקבות רצף שנות בצורת והפרעות אנתרופוגניות (Bendavid-Novak and Schick, 1997; Shrestha et al., 2003). תצלומי אוויר ותמונות לוויין שימשו להעריך שינויים במצב האוכלוסיות בפרספקטיבה ארוכת טווח (Andersen and Krzywinski, 2007). טכניקות שונות שימשו כדי

סיכום ממצאי המחקר ושאלות להמשך

במחקר זה בחנו את הקשר בין פוטנציאל יצירת נגר באגנים קטנים בנחל שיטה לבין פיזור העצים לאורך ערוצי המשנה. מצאנו כי קיים קשר בין דפוס יצירת הנגר על גבי יחידות מסלע שונות ובין צפיפות העצים, וכי נוכחות של קרקע חרסיתית אדומה תורמת להתפתחות שיטים באגני ניקוז קטנים. אנו מציעים כאן שהמאפיינים המטאורולוגיים, ההידרולוגיים, הגאולוגיים והגאומורפולוגיים משפיעים על זמינות המים ועל יכולת העצים להתבסס לאורך ערוצי הנחלים באקלים צחיח קיצון.

ככלל, התוצאות תורמות להבנה שלנו את יכולת העמידות של שיטים בפני יובש בשנים מעוטות משקעים, כלומר, בשנים שיש בהן אירועי גשם קטנים שאינם מצליחים ליצור זרימה שיטפונת בערוצים מרכזיים, אך מהווים פוטנציאל ליצירת נגר מקומי בערוצי משנה.

סוגיות שעולות מן המחקר ולא נענו במהלכו, יכולות לשמש למחקרי המשך: אפיון גאומורפולוגי של אגן נחל שיטה ומיפוי אזורי המדרונות אל מול השטחים הסלעיים; מדידת מקדמי נגר במאפייני פני שטח שונים ובסדר גודל שונים; אפיון הגודל ומצב החיות של השיטים לאורך ערוצי המשנה; בחינת מיקום היחידה החרסיתית מתחת לפני השטח באגן נחל שיטה.

בערוץ, מצאנו כי אחוז הכיסוי של תשתית הגיר והצור מכלל שטח הניקוז אל העץ הוא בממוצע 81% בערוצים בצד המערבי. אנו מסיקים שהתשתית הגאולוגית תורמת ליצירת נגר באירועי גשם קטנים, ומאפשרת לעצים להתבסס ולשגשג באזורים אלה. בערוצים בצד המזרחי של אגן הניקוז הכיסוי של תשתית גיר וצור מגיע רק ל-43% בממוצע. עם זאת, שטחי הניקוז אל העצים הראשונים דומים בשני צידי האגן. תוצאות אלה מראות שעצים במעלה הערוץ, בחלק המזרחי של נחל שיטה, מצליחים להתבסס באזורים בעלי שטחי ניקוז דומים לאלה שבחלק המערבי, אף על פי שאחוז הכיסוי של תשתית גיר וצור נמוך יותר. תוצאות אלה מחזקות ממצאים אחרים, ומצביעות על תרומה של היחידה החרסיתית להתבססות ולשגשוג של השיטים.

ככלל, נראה שהתשתית החרסיתית מאפשרת זמינות מים גבוהה ושגשוג של אוכלוסיות שיטים לכל אורך ערוצי המשנה. במחקר קודם נבדקה התרומה של היחידה החרסיתית לשגשוג השיטים בנחל שיטה ובנחלים אחרים (Stavi et al., 2016), ונמצא כי באזורים שהיחידה החרסיתית נפוצה בהם, האחוז הממוצע של העצים החיים היה גבוה בהשוואה לאפיקי נחלים ללא היחידה החרסיתית. הקרקע החרסיתית נמצאה איכותית יותר מקרקע שמאפיינת אפיקי נחלים (אלוביום) במרקם הקרקע (חרסיתית לעומת חולית), בקיבולת המים הזמינים (לחות היגרוסקופית גבוהה, קיבולת שדה גבוהה, נקודת כמישה נמוכה) ובתכונות הכימיות (פחמן אורגני גבוה וסידן פחמתי נמוך).

מקורות

- Andersen GL and Krzywinski K. 2007. Mortality, recruitment and change of desert tree populations in a hyper-arid environment. *PLoS ONE*, 2(2), e208.
- Armoza-Zvuloni R, Shlomi Y, Shem-Tov R, Stavi I, and Abadi I. 2021. Drought and anthropogenic effects on acacia populations: A case study from the hyper-arid Southern Israel. *Soil Systems*, 5, 1–13.
- Belachsen I, Marra F, Peleg N, and Morin E. 2017. Convective rainfall in a dry climate: Relations with synoptic systems and flash-flood generation in the Dead Sea region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, 5165–5180.
- Bendavid-Novak H and Schick AP. 1997. The response of Acacia tree populations on small alluvial fans to changes in the hydrological regime: Southern Negev Desert, Israel. *Catena*, 29, 341–351.
- Greenbaum N, Mushkin A, Porat N, and Amit R. 2020. Runoff generation, rill erosion and time-scales for hyper-arid abandoned alluvial surfaces, the Negev desert, Israel. *Geomorphology*, 358, 107101.
- אשכנזי ש. 1995. **עצי השיטה בערבה ובנגב, סקר בעקבות תופעות התייבשות ותמותה**. הקרן הקימת לישראל, מנהל פיתוח קרקע.
- גרינבאום נ, שלמוני ע ושיק א. 2003. השלכות גאומורפולוגיות ויישומים הידרולוגיים של ניסויי חידור מדרוניים בסובב צחיח קיצון, **אופקים בגיאוגרפיה**, 57–58, 44–69.
- המרכז לחקר שיטפונות במדבר. 2023. **תוצאות ניטור הידרולוגי בין השנים 2017–2022**. מו"פ מדבר וים המלח. <https://floods.org.il/%d7%93%d7%95%d7%97%d7%95%d7%aa-%d7%a9%d7%a0%d7%aa%d7%99/d7%95/d7%97/d7%95/d7%aa-%d7%a9%d7%a0/d7%aa/d7%99/d7%9d>
- מאירי ע, יאיר א וגינת ח. 2021. השפעת תכונות פני השטח על יחסי גשם-נגר במדבר צחיח קיצון בגשם טבעי. **מחקרי הנגב, ים המלח והערבה**, 13, 15–29.
- פלד י. 1988. **תמותת עצי השיטה בערבה הדרומית** (עבודה לקבלת תואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- רון צ. 1979. המבנה הגאומורפולוגי של הערבה. בתוך: שמואלי א וגרודס י (עורכים). **ארץ הנגב אדם ומדבר**, 140–163.
- שיפרין ת. 2021. **אפיון גנטי ופנולוגי של אוכלוסיית עצי השיטה החשודים כמכלואים בנחל שיטה** (עבודה לקבלת תואר מוסמך). מנהל המחקר החקלאי-מרכז וולקני.

- Shrestha MK, Stock WD, Ward D, and Golan-Goldhirsh A. 2003. Water status of isolated Negev desert populations of *Acacia raddiana* with different mortality levels. *Plant Ecology*, 168, 297–307.
- Stavi I, Silver M, and Avni Y. 2014. Latitude, basin size, and microhabitat effects on the viability of *Acacia* trees in the Negev and Arava, Israel. *Catena*, 114, 149–156.
- Stavi I, Shem-Tov R, Shlomi Y, Bel G, and Yizhaq H. 2015. Recruitment and decay rate of *Acacia* seedlings in the hyper-arid Arava Valley, Israel. *Catena*, 131, 14–21.
- Stavi I, Shem-Tov R, Gourjon E, Ragolski G, Shlomi Y, and Ginat H. 2016. Effects of 'red unit' deposit on *Acacia* trees in the hyper-arid southern Israel. *Catena*, 145, 316–320.
- Uni D, Sheffer E, Winters G, Lima AC, Fox H, and Klein T. 2022. Peak photosynthesis at summer midday in *Acacia* trees growing in a hyper arid habitat. *Trees*, 37, 255–267.
- Winters G, Ryvkin I, Rudkov T, Moreno Z, and Furman A. 2015. Mapping underground layers in the super arid Gidron Wadi using electrical resistivity tomography (ERT). *Journal of Arid Environments*, 121, 79–83.
- Winters G, Otieno D, Cohen S, Bogner C, Ragowloski G, Paudel I, and Klein T. 2018. Tree growth and water-use in hyper-arid *Acacia* occurs during the hottest and driest season. *Oecologia*, 188, 695–705.
- Yair A, Meiri E, and Ginat H. 2021. Spatial variability of runoff generation in a hyper arid area. *Journal of Hydrogeology and Hydrologic Engineering*, 10, 3.
- Yair A and Raz-Yassif N. 2004. Hydrological processes in a small arid catchment: Scale effects of rainfall and slope length. *Geomorphology*, 61, 155–169.
- Dean WRJ, Milton SJ, and Jeltsch F. 1999. Large trees, fertile islands, and birds in arid savanna. *Journal of Arid Environments*, 41, 61–78.
- Ginat H, Zilberman E, and Amit R. 2002. Red sedimentary units as indicators of Early Pleistocene tectonic activity in the southern Negev desert, Israel. *Geomorphology*, 45, 127–146.
- Goslar T, Andersen G, Krzywinski K, and Czernik J. 2013. Radiocarbon determination of past growth rates of living *Acacia*. In: Jull AJT and Hatté C (Eds). *Proceedings of the 21st International Radiocarbon Conference*, pp. 1683–1692.
- Hackett TD, Korine C, and Holderied MW. 2013. The Importance of *Acacia* trees for insectivorous bats and arthropods in the Arava desert. *PLoS ONE*, 8, 1–10.
- Isaacson S, Ephrath JE, Rachmilevitch S, Maman S, Ginat H, and Blumberg DG. 2017. Long and short term population dynamics of acacia trees via remote sensing and spatial analysis: Case study in the southern Negev Desert. *Remote Sensing of Environment*, 198, 95–104.
- Kampf SK, Faulconer J, Shaw JR, Sutfin NA, and Cooper DJ. 2016. Rain and channel flow supplements to subsurface water beneath hyper-arid ephemeral stream channels. *Journal of Hydrology*, 536, 524–533.
- Kampf SK, Faulconer J, Shaw JR, Lefsky M, Wagenbrenner JW, and Cooper DJ. 2018. Rainfall thresholds for flow generation in desert Ephemeral streams. *Water Resources Research*, 54, 9935–9950.
- Lahav-Ginott S, Kadmon R, and Gersani M. 2001. Evaluating the viability of *Acacia* populations in the Negev Desert: A remote sensing approach. *Biological Conservation*, 98, 127–137.
- Schwartz U. 2016. Factors affecting channel infiltration of floodwaters in Nahal Zin basin, Negev desert, Israel. *Hydrological Processes*, 30, 3704–3716.
- Sher AA, Wiegand K, and Ward D. 2010. Do *Acacia* and *Tamarix* trees compete for water in the Negev desert? *Journal of Arid Environments*, 74, 338–343.



מבט מדרום על נחל שיטה, אפריל 2023. בערוץ הראשי עצי שיטה. ערוצי המשנה בדגם פזרות, ללא עצים, מתנקזים לערוץ הראשי. בבסיס התמונה משטחי רג. באופק גבעות גיר וצור. צילום באמצעות רחפן: רחלי ארמוזה-זבולוני

היעילות האקו-הידרולוגית של מערכות קציר נגר לאורך מדרונות באזור צחיח למחצה בטווח הקצר והארוך

אלי ארגמן^{1*} | נתנאל בורו^{2,1} | עידית טיקוצקי^{3,1} | אילן סתוי^{4,5}

- 1 התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
 - 2 המחלקה למדעי הקרקע והמים, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים
 - 3 המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
 - 4 מו"פ מדבר וים המלח, יטבתה
 - 5 קמפוס אילת, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
- * Eliar@moag.gov.il

תקציר

באתרי הנטיעה הוותיקים (2005, 2009) נצפתה עלייה מובהקת בערכי מדד NDVI (ממוצע עונתי) לאחר בניית מערכות קציר הנגר. כמו כן, נצפה קשר חיובי ומובהק בין כמות המשקעים העונתיים למדד הצומח. בניגוד לכך, באתר הנטיעה הצעיר (2016) לא נמצאו מגמות כאלה. כמו כן, נמצא שבטווח הקצר בניית המערכות השפיעה לרעה על מדד הצומח, שהתבטא בירידה מובהקת של מדד NDVI הממוצע בעונת הנטיעה הראשונה, בהשוואה לאתר הביקורת. ממצאים אלה מאוששים את ההנחה כי למרות השפעה שלילית בטווח הקצר, בניית המערכות מסייעת לניצול נגר ומכאן לשיפור במצב הצומח וליצירת מערכת בת-קיימא בטווח הארוך בצורה דומה או אף משופרת בהשוואה למצב המדרונות ה'טבעיים'.

באזור צפון הנגב נצפו בעשורים האחרונים תהליכי התדלדלות קרקע אינטנסיביים בעקבות עלייה בלחץ הסביבתי, הנובע בעיקר מפעילות האדם. נוסף על כך, מגמות שינוי האקלים מצביעות על התמעטות משקעים ועל עלייה בטמפרטורת המינימום. שילוב מגמות אלה מאיים על תפקוד צומח עונתי במדרונות 'טבעיים'.

במחקר ארוך טווח שנערך ביער השגרירים הממוקם בצפון הנגב, נבחנו ההשפעות של שינוי בשימוש הקרקע מרעייה אינטנסיבית ליער סוואנה הנתמך במערכות קציר נגר – שיחים ולימנים. במחקרים קודמים הוכח כי המערכות האלה מסייעות לשימור ולשיפור של המערכת האקו-הידרולוגית, מגבירות את זמינות המים לצומח הנטוע ומסייעות בוויסות דליפות נגר לאפיקי נחלים ובמיתון סחיפת קרקע.

המחקר התמקד בהשפעות העיתיות, בטווח הקצר והארוך, של השינוי בשימוש הקרקע. לשם כך, נבחרו ארבעה אתרי עניין – שלושה אתרי נטיעות שניטעו בשנים: 2005, 2009 ו-2016, ואתר ביקורת שלא הופר במהלך כל שנות הניטור. בכל אחד מהאתרים נבנה בסיס נתונים עיתי של מדד הצומח המנורמל (NDVI), שנלקח מדימותי לוויין בין השנים 2000–2021, וחושב היחס בין ערכי המדד הממוצע ובין כמות המשקעים העונתית.

מילות מפתח

חישה מרחוק, יער סוואנה, מדד הצומח, שיחים, NDVI

מבוא

Gutierrez et al., 2015) הראו כי פעולות הייעור עלולות לפגוע בתפקוד הגאו-אקולוגי של מדרונות בשטחים מיוערים.

החל משנות ה-50 של המאה ה-20 קק"ל מקדמת פעולות ייעור בצפון הנגב (Orenstein et al., 2012). בעשורים האחרונים ממשק הייעור הנפוץ באזורים האלה הוא נטיעה של יער סוואנה, המתאפיין בנטיעת מיני עצים עמידים לתנאי יובש, בצפיפות דלילה, לאורך מדרונות מתונים ובתרונות מאפשר התבססות צומח עשבוני נוכח היווצרות של תנאי מיקרו-אקלים משופרים (Helman et al., 2014; Mussery et al., 2016).

פעולה נוספת לשימור מים ולמניעת סחיפה היא קציר מי נגר (runoff water harvesting). טכניקה עתיקה יומין זו לאיגום מלאכותי של מי גשם הניגרים על פני הקרקע, מאפשרת גידול עצים, שיחים וצומח עונתי באקלים צחיח וצחיח למחצה. ניתוב מלאכותי של מי נגר לשקעים מתן את דליפת הנגר וסחיפת הקרקע מהמדרון, משמר את איכות הקרקע, ומשפר את זמינות המים לצמח. אדמות הלס הנפוצות בצפון הנגב מתאפיינות בכושר חידור נמוך, המאיץ היווצרות נגר וסחיפת קרקע. לכן, שימוש בטכניקות קציר נגר חיוני לשימור ואף לשיפור של המערכת האקולוגית (Grum et al., 2017; Paz-Kagan et al., 2017).

אם כן, ניכר כי ניהול ממשק יער סוואנה בשילוב מערכות קציר נגר מהווה אמצעי אקו-הידרולוגי חיוני לשיפור זמינות המים לצומח ולניהול אגני בר-קיימא. השפעות בניית מערכות קציר נגר על תכונות הקרקע, בטווח הקצר והארוך, ניכרות, ותוארו בעבודות קודמות (Stroosnijder et al., 2012; Stavi et al., 2015; Stavi and Argaman, 2016). עם זאת, ההשפעות ארוכות הטווח של בניית מערכות קציר הנגר על הצומח במדרונות לא נבחנו במחקרים קודמים.

קק"ל משלבת מערכות קציר נגר לניהול בר-קיימא של יער סוואנה על ידי בניית שיחים ולימנים. שיח הוא סוללת עפר מלאכותית רדודה הנבנית לאורך מדרונות בעלי שיפוע מתון, ומיועדת לאיגום מי הנגר ולקליטת החומר הקרקעי שנשחף ממעלה המדרון. קיטוע המדרון על ידי מערכת של שיחים מובילה למיתון מהירות זרימת מי הנגר ומכאן להפחתה ניכרת של תפוקות הסחף המשטחי והערוצי. לימן הוא מערכת קציר נגר המוקמת לאורך בתרונות ואפיקים ראשוניים, ומיועדת, נוסף על סכירת מי הנגר, לריסון ולוויסות של הזרימה. הלימנים מסייעים למתן את מהירות הזרימה באפיקי נחלים ובתעלות ניקוז. שני סוגי המערכות האלה משמשים את קק"ל לניהול ממשק יערות סוואנה במטרה למנוע הרס מדרונות, בתרונות ואפיקים.

מטרת מחקר זה היא לבחון את מידת השפעת השינוי בשימוש הקרקע מאדמת מרעה ליער סוואנה הנתמך במערכות קציר נגר מדרוני (שיחים), בטווח הקצר והארוך,

תהליכי התדלדלות קרקע, 'טבעיים' או מעשה ידי אדם, מתרחשים בהדרגתיות, ולרוב סמויים מהעין בטווח הקצר (Argaman et al., 2020). התהליכים האלה משפיעים לרעה על תפקוד מערכות אקולוגיות (Ramon et al., 2012), ומביאים לפחיתה בתכולת החומר האורגני בקרקע, לפגיעה ביציבות תלכיד קרקע ולאיתוס של פני הקרקע. כתוצאה מכך, נגרמים צמצום בשיעור חידור המים לקרקע, הקטנת זמינות המים לצומח, האצת תהליכי נגר וסחיפה, ומכאן הרס המדרונות.

תחזיות האקלים לחלקו המזרחי של אגן הים התיכון מנבאות פחיתה בכמות המשקעים (Golodets et al., 2015) במקביל לגידול בתקופות יובש בין סופות גשם (Deitch et al., 2017). מאידך גיסא, במאמרם של Drori ושות' (2021) נחזה לצפון הנגב גידול בכמות המשקעים אך התקצרות של עונת הגשמים ופחיתה במספר ימי הגשם. נוסף על כך, Yosef ושות' (2019) חזו פחיתה בכמות המשקעים ובמספר ימי הגשם, שתלווה בעליית הטמפרטורה היומית הממוצעת, ותוביל להחמרת תדירות תקופות היובש בעשורים הקרובים. במחקר שערכו Argaman ושות' (2020) בפארק סירת שקד שבצפון-מערב הנגב, דווח כי בין השנים 1994–2013 נמדדה עלייה מובהקת של הטמפרטורה המינימלית בד בבד עם ירידה בלחות היחסית ובמהירות הרוח, שהובילו לעלייה בערכי ההתאדות הפוטנציאלית.

למשטר הגשמים (משך סופת גשם, עוצמתה ותדירותה) השפעה ישירה ועקיפה על עמידות הקרקע בפני התדלדלות כימית ופיזיקלית (Nearing et al., 2017; Middleton, 2019). לכן, חוסר הוודאות לגבי השפעת שינוי האקלים על משטר הגשמים מחייב היערכות מקדימה לצורך מיתון הפגיעה באיכות הקרקע, ומיתון דליפת נגר וזיהום בשל סחיפת קרקע לא מבוקרת במדרונות ובאגני ניקוז.

בעבודתם של Argaman ושות' (2020), שבחנה את ההשפעה של תקופות יובש על המשטר ההידרולוגי באגן מבודד הממוקם בפארק סירת שקד, נמצא כי תקופות יובש ממושכות הובילו לפגיעה בכיסוי צומח עונתי במדרונות טבעיים, שגרם לעלייה בדליפת הנגר מהמדרונות אל מחוץ לגבולות האגן.

נוסף על אלה, באקלים צחיח וצחיח למחצה, עלייה בלחצים סביבתיים, הנובעים מחקלאות אינטנסיבית, מרעיית יתר ומביעור צומח מעוצה, היא גורם אנושי משמעותי המאיץ את הפגיעה בפני הקרקע ובעמידותה בפני שינוי האקלים (Stavi et al., 2020).

פעולות ייעור המתפרסות על פני שטחים נרחבים נפוצות באזורים רבים, והוכחו כאמצעי יעיל לניהול בר-קיימא של אגני ניקוז (Schwarzel et al., 2020; Forster et al., 2021). מנגד, מחקרים אחרים (Rotem et al., 2014; Moreno-

המטאורולוגי. נתוני גשם סופתי ועונתי נמדדו במהלך שנות הניטור בתחומי היער החל משנת 2008. נתונים היסטוריים וחסרים הושלמו מתחנות גשם סמוכות של משרד החקלאות והשירות המטאורולוגי לאחר כיוול ואינטרפולציה גאו-מרחבית מבוססת IDW (Inverse Distance Weighing). מכיוון שהמרחק הגאוגרפי בין האתרים קטן, הנחנו כי כמות תפרוסת המשקעים העונתית דומה בכל האתרים. הנחה זו מתבססת גם על מדידות גשם סופתי במדי גשם הממוקמים באתרי הניטור, מאחר שלא נמצאו הבדלים ברורים בין כמות המשקעים הסופתית מאתרי הניטור ובין הנתונים מהתחנות המטאורולוגיות הסמוכות.

מערך הניטור הקרקעי החל לפעול בעונת הגשמים 2008/9 (עונת גשמים מתחילה בחודש ספטמבר ומסתיימת בסוף חודש אוגוסט העוקב). המערך כולל מידע על אודות תכונות הקרקע במדרונות ובאפיקים (שיחים ולימנים, בהתאמה) וכן מאזן מים עונתי בלימנים.

ניטור לווייני רציף של מדדי צומח וקרקע באתרים נבחרים בוצע החל מספטמבר 2000 בהסתמך על מדדי צומח מחיישי Terra ו-AQUA של לווייני MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer).

ניטור צפיפות הצומח ומצבו ביער השגרירים נעשה באמצעות מדד NDVI (Rouse et al., 1974), הרגיש לתכולת הכלורופיל בצמח. המדד זמין מתוך נתוני לוויינים, והניטור

באמצעות הערכת מצב הצמחייה על ידי שימוש במדד NDVI מדימותי לוויין.

שיטות וחומרים

אתר המחקר

המחקר התבצע בתחומי יער השגרירים, יער סוואנה שנטיעתו החלה בשנת 2005 ונמשכת עד ימים אלה (איור 1). היער משתרע על פני שטח של כ-25 קמ"ר, וממוקם בצפון הנגב. האתר הוא חלק מרשת של 14 תחנות ניטור אקולוגי ארוכות טווח בישראל (LTER ISRAEL, 2023). מערך הנטיעות בתחומי היער מתבסס על מערכות שיחים ולימנים שהוקמו על פני מדרונות בעלי שיפוע מתון (9%–3%). ממוצע המשקעים הרב-שנתי באזור (1991–2020) הוא 287 מ"מ, ומתאפיין בשונות בין-שנתית גבוהה (השירות המטאורולוגי הישראלי, 2023). מספר ימי הגשם הממוצע לעונה ($1.0 < \text{מ"מ ליום}$) הוא 38 ± 6 .

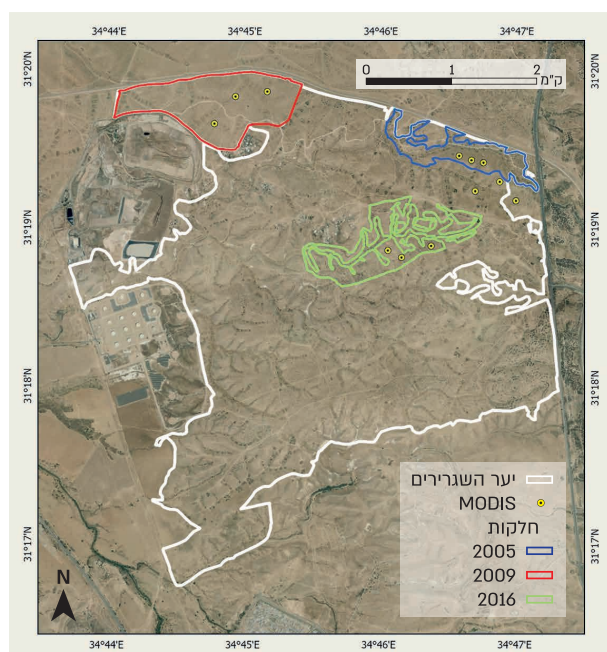
טיפוס הקרקע העיקרי בתחומי היער הוא לס (Loessial Loessial) (Singer, 2007) (Calcic Xerosol) בעל מרקם חולי-אבקתי (Sandy clay loam) (Stavi and Argaman, 2016). תכולת החומר האורגני הממוצעת נעה בין 0.7% באזורים שנבנו בהם מערכות קציר נגר לאחרונה, ועד ל-1.95% במדרונות שלא נבנו בהם מערכות קציר נגר.

מגוון הצומח הנטוע כולל מינים שונים, ובהם אשל הפרקים (*Ziziphus spina-christi*), שיזף מצוי (*Tamarix aphylla*) ושקמה (*Ficus sycomorus*). עד לנטיעת היער היו הקרקעות באזור חשופות במשך שנים ארוכות לרעיית יתר בלתי מבוקרת, שהובילה להאצת החתירה של בתרונות יובלי הנחלים כרכור ופטיש. לאחר בניית מערכות קציר הנגר העצים הנטועים מושקים שנתיים לפחות, עד להתבססות. רעייה מבוקרת אסורה בחמש שנים הראשונות לאחר הנטיעה. היקף כיסוי חופת הצומח הנטוע נע בין 1.28% ועד 0.49% באתרי הנטיעות הוותיקים והצעירים, בהתאמה (בורו ושות', 2023).

ניטור השפעת שינוי שימוש הקרקע – בין העונות 2000 ועד 2020 – נבחן בארבעה אתרים ברחבי היער שגיל העצים בהם נע בין 15 ועד ארבע שנים (איור 1), על פי הפירוט הבא: א. 15 שנים ממועד הנטיעה – נטיעות "2005"; ב. 11 שנים ממועד הנטיעה – נטיעות "2009"; ג. ארבע שנים ממועד הנטיעה – נטיעות "2016"; ד. מדרונות ללא מערכות קציר נגר – "ביקורת".

חומרים

נתונים מטאורולוגיים וכן כמויות משקעים נאספו מתחנות מטאורולוגיות סמוכות, כולל גילת, שובל ואשל הנשיא המנוהלות על ידי משרד החקלאות ופיתוח הכפר והשירות



איור 1

מפת התמצאות יער השגרירים

הנקודות הצהובות מייצגות את מיקום הפיקסלים של לוויין MODIS שנבחרו לייצג את אתרי העניין.

(BACI) בכל אתרי המחקר להערכת השונות העיתית של מדד יעילות הגשם לפני בניית מערכות השיחים ואחריה (Thiault et al., 2017; Chevalier et al., 2019).

נעשה תוך שימוש בבסיס הנתונים MOD13Q1 ו-MYD13Q1 מתוך חיישני AQUA ו-TERRA הנישאים על גבי לווייני MODIS בעלי רזולוציה מרחבית של 250 מטר לפיקסל (USGS, 2023).

תוצאות

בהשוואה לממוצע המשקעים הרב-שנתי (1991–2020, 287 מ"מ), נצפתה הפחתה משמעותית אך לא מובהקת בתקופה שבין 2000–2020 (ממוצע משקעים עונתי 261.0 ± 76.4 מ"מ). בין העונות 2005 ל-2012 נמדד רצף של שנים שחונות, וכמות המשקעים העונתית הממוצעת בהן הייתה נמוכה מהממוצע הרב-שנתי באופן מובהק (איור 2א). באופן מיוחד, בעונות 2007, 2008 ו-2010 נמדדה כמות משקעים של 150, 168 ו-152 מ"מ, בהתאמה. הערכים האלה נמוכים ב-48%–40% מהממוצע הרב-שנתי של האזור (1991–2020). בחינת תפוסת ימי הגשם והמשקעים החודשיים בשנים השחונות מראה שמספר ימי הגשם בחודשים נובמבר ודצמבר נמוך בהשוואה לממוצע הרב-שנתי (איורים 2ב, 2ג). באופן דומה, כמות המשקעים בחודשים נובמבר–ינואר נמוכה באופן מובהק ($p < 0.01$) מהממוצע הרב-שנתי, ועומדת על 55 מ"מ בממוצע בהשוואה ל-69 מ"מ בשנה ממוצעת. ניתוח משתני אקלים שנבחנו בתקופת הניטור הצביע על מגמה דומה לזו שזיהו יוסף ושות' (2019). כמות המשקעים בעונות 2005, 2009 ו-2016, הייתה דומה (218.1, 218.5 ו-201.9 מ"מ, בהתאמה), ונמוכה באופן ניכר מהממוצע הרב-שנתי.

במהלך תקופת הניטור נצפו שינויים ניכרים בערכי מדד NDVI הממוצע בין העונות. הערכים המרביים נמדדו בשנים הגשומות יותר מהממוצע הרב-שנתי, והנמוכים ביותר במהלך השנים השחונות, ללא קשר ברור למועד בניית מערכות השיחים. במהלך רצף השנים השחונות (2005–2012) נמדדה נקודת ההיפוך (tipping point) של מדד NDVI בין העונות ההידרולוגיות 2008–2009. ההשפעה של תרומת המשקעים על מדד NDVI לאחר עונת 2008 במדרונות הביקורת הייתה גבוהה ומובהקת ($p < 0.01$) בהשוואה לעונות שלפני נקודת ההיפוך למרות תנודות משמעותיות של המשקעים במהלך עונות הניטור העוקבות (איור 3א). מגמה דומה נמדדה לאחר בניית מערכות השיחים באתרים "2005" ו-"2009" בהשוואה לשנים שלפני בנייתם. כצפוי, במדרונות "2016" תרומת המשקעים למדד NDVI הייתה פחותה בהשוואה לשנים שלפני בניית השיחים. בנייתו BACI לבחינת הממוצע הרב-שנתי של מדד יעילות הגשם (RUE) במהלך תקופת הניטור מצאנו כי הערך הממוצע של מדד יעילות הגשם במדרונות הביקורת לאחר נקודת ההיפוך היה 0.664, גבוה ב-12.7% בהשוואה

שיטות

תדירות הנתונים מאפשרת בחינה עונתית ושנתית של שינויים במצב הצומח וצפיפותו בכל תא שטח נבחן. נתוני הלוויינים קובצו למהלך חודשי, עונתי ושנתי (שנה הידרולוגית) בכל אתרי המחקר ביער השגורים. נתונים שגויים, בעלי איכות נמוכה או חריגים מוסכו לפני ניתוח סדרות הזמן בכל חלקת מחקר. בסך הכול צורפו מעל 2,400 תצפיות בכל אתרי העניין במהלך תקופת המחקר (2000–2020). בכל אתר נטעו ובחלקת הביקורת נבחרו שלושה פיקסלים של הלוויין MODIS, לאחר אימות קרקעי, המכסים שטח של 187.5 דונם של מדרונות שנבנו בהם מערכות שיחים. היקף השטח המנוטר בכל אתר נטעו, ביחס להיקף השטח הנטוע במדרונות, הוא 41.2%, 51.6% ו-38.3%, עבור האתרים "2005", "2009" ו-"2016", בהתאמה. בסיס הנתונים בכל אתר חולק למועד שלפני בניית מערכות השיחים ולאחריה.

כדי לבחון את מידת ההשפעה המיידית של בניית מערכות השיחים על כיסוי הצומח נבחנה החריגה של מדד NDVI הממוצע לעונה הידרולוגית נתונה (Dev_i), ביחס לממוצע הרב-שנתי בכל אתר נטעו באופן הבא:

$$Dev_i = \left(\frac{NDVI_i - \overline{NDVI}}{\overline{NDVI}} \right)$$

כאשר \overline{NDVI} מחושב בהתאם למשוואה:

$$\overline{NDVI} = \frac{\sum_{i=1}^n NDVI_i}{N}$$

ערך ה- $NDVI_i$ הוא הערך הממוצע בעונה הידרולוגית נתונה (i), ו-N הם מספר עונות הניטור. היחס בין מדד NDVI הממוצע בעונה הידרולוגית נתונה ובין כמות המשקעים העונתית מוגדר כמדד יעילות הגשם (Rain Use Efficiency – RUE), ומאפשר את הערכת התועלת של המשקעים על התפתחות צומח עונתי (Chang et al., 2018). המדד חושב באופן הבא:

$$RUE = \frac{NDVI_i}{P_i}$$

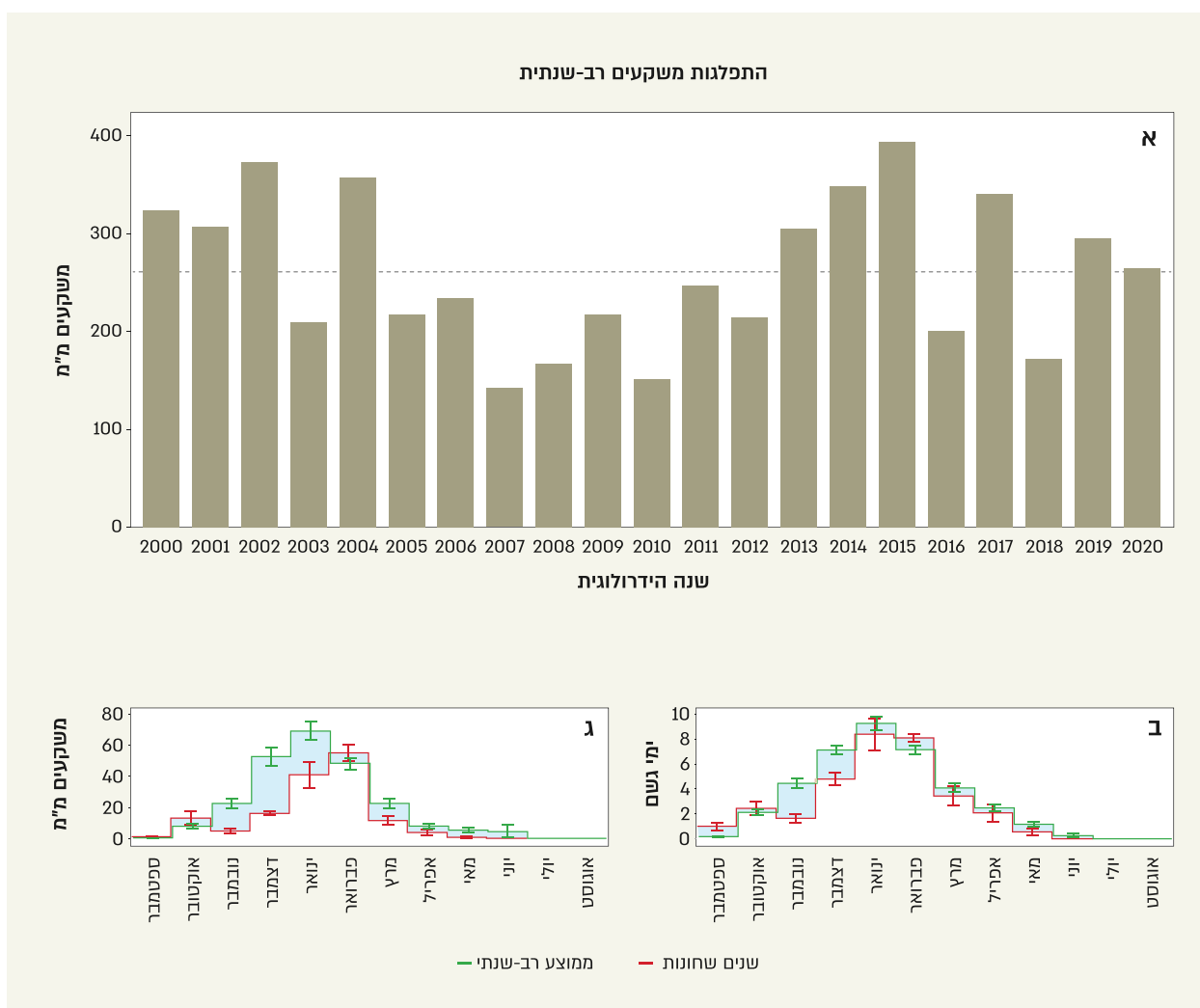
כאשר P_i מציין את כמות המשקעים בעונה נתונה (מ"מ). כמו כן, בוצע ניתוח Before-After-Control-Impact

גבוה בהשוואה למדרונות הביקורת בתקופה המקבילה (2000–2004) ללא מובהקות סטטיסטית ברורה. עם זאת, בין השנים 2005–2020, לאחר בניית השיחים, הערך הממוצע של מדד יעילות הגשם היה 0.684, גבוה בהשוואה למדרונות הביקורת (0.664), ללא הבדל מובהק. אף על פי שמגמת השינוי של מדד NDVI באתר "2005" לפני בניית השיחים ואחריה נמצאה זניחה, השינוי היחסי בערך הממוצע של מדד יעילות הגשם בין שתי התקופות היה 31%, גבוה באופן ניכר בהשוואה לאתרים האחרים, כולל מדרונות הביקורת.

הערך הממוצע של מדד יעילות הגשם באתר הנטיעות הצעיר ביותר, "2016", לאחר בניית השיחים היה 0.629, נמוך

לתקופה הקודמת (0.589). הערך הממוצע של מדד יעילות הגשם העונתי שנמדד באתר "2009" עד לשנה ההידרולוגית שמערכות השיחים באתר נבנו בה היה 0.573, נמוך מהערך הממוצע שנמדד בשנים העוקבות (איור 3). כמו כן, בין השנים ההידרולוגיות 2008–2009 (נקודת ההיפוך) ערכי מדד יעילות הגשם שנמדד באתר "2009" היו הנמוכים ביותר מבין כל אתרי הניטור, כולל מדרונות הביקורת (0.456 ו-0.569, בהתאמה). העלייה בערכו הממוצע של מדד יעילות הגשם לאחר בניית מערכות השיחים משקפת שיפור של 9% בהשוואה לתקופה הראשונה.

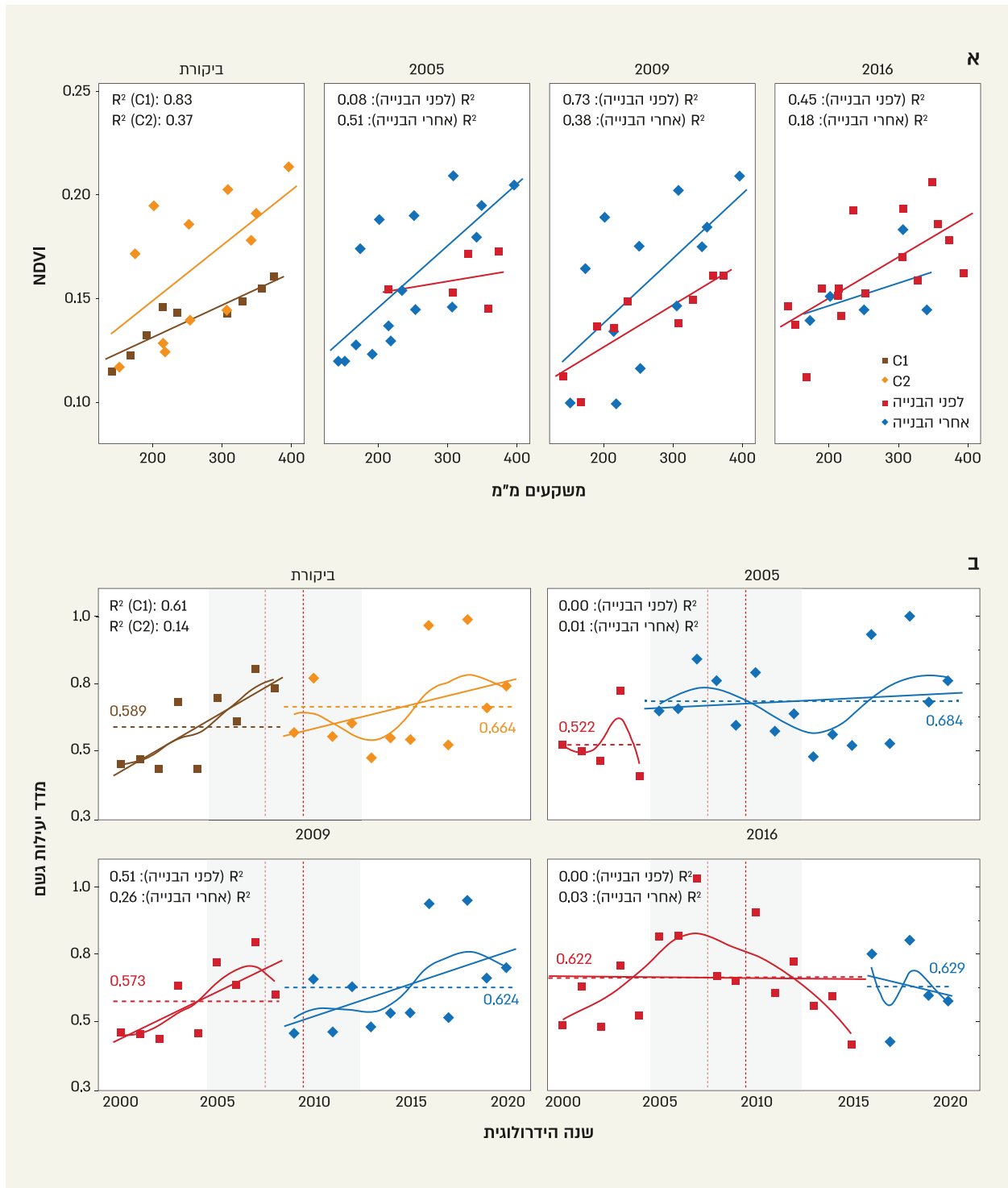
באתר הנטיעות הוותיק ביותר, "2005", הערך הממוצע של מדד יעילות הגשם לפני בניית מערכות השיחים היה 0.522,



איור 2

התפלגות משקעים עונתית וחודשית בתחומי יער השגרירים במהלך שנות הניטור (2000–2020)

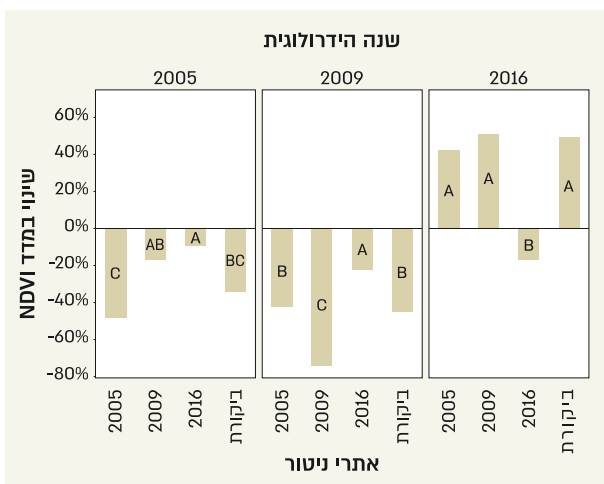
א. התפלגות המשקעים העונתית במהלך שנות הניטור. הקו המקווקו מציין את הממוצע הרב-שנתי במהלך עונות הניטור; ב. התפלגות מספר ימי הגשם החודשית במהלך עונת הגשמים. בירוק – התפלגות ימי הגשם ארוכת טווח באתר יער השגרירים (2000–2021); באדום – התפלגות ימי הגשם במהלך שנים שחונות; ג. התפלגות המשקעים החודשית במהלך שנות הניטור. בירוק – התפלגות כמות המשקעים החודשית ארוכת טווח (2000–2021) באתר יער השגרירים; באדום – התפלגות המשקעים החודשית במהלך השנים השחונות.



איור 3

השפעת כמות המשקעים ויעילות הגשם העונתי על מצב הצומח באתרי הניטור

א. המתאם בין משקעים עונתיים ובין מדד NDVI, לפני בניית מערכות השיחים ואחריה. קו רציף אדום מציין את השנים שלפני בניית מערכות השיחים. קו רציף כחול מציין את השנים שאחרי בניית מערכות השיחים. קווי המגמה בגוון החום והכתום בחלקת הביקורת מציינים את הקשר בין מדד NDVI לפני נקודת ההיפוך ואחריה (C1 ו-C2, בהתאמה), בין השנים ההידרולוגיות 2008–2009, בהתאמה; ב. מהלך עונתי ורב-שנתי של מדד יעילות הגשם (x1000) בתקופת שנות הניטור. העקום האדום מייצג בכל אתר את השנים שלפני בניית מערכות השיחים, והעקום הכחול מייצג את השנים שלאחר בניית מערכות השיחים. במדרונות הביקורת העקום החום מייצג את השנים לפני נקודת ההיפוך, והעקום הכתום מייצג את השנים אחריה. העקום המקווקו בגוונים אדום וכחול מייצג את הממוצע הרב-שנתי של מדד יעילות הגשם בין השנים שלפני בניית מערכות השיחים ואחריה. נקודת ההיפוך מסומנת בקו מקווקו אנכי בצבע אדום.



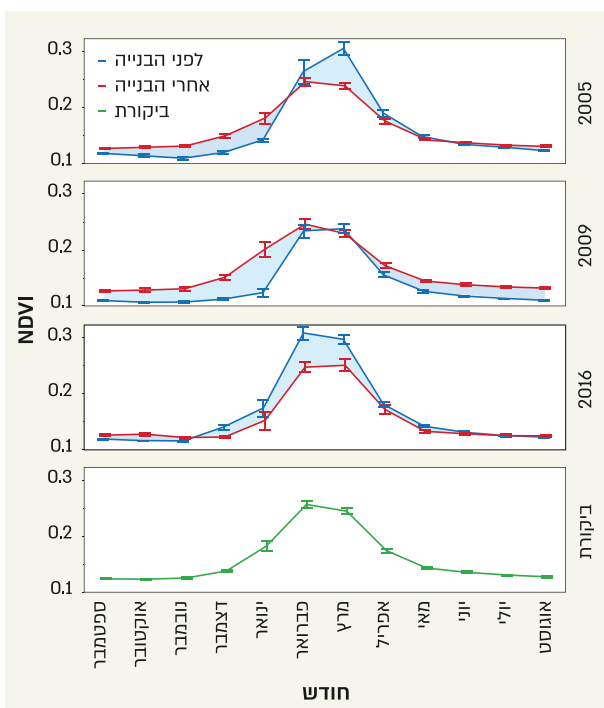
איור 4

התפלגות השינוי היחסי במדד NDVI ביחס לממוצע הרב-שנתי

העמודות מציגות את עונות הגשמים (2005, 2009, 2016) ותתי-העמודות מציגות את אתרי הניטור (2005, 2009, 2016 וביקורת) בשנים שמערכות השיחים נבנו בהן. ציר Y – גודל השינוי של מדד NDVI העונתי ביחס לממוצע הרב-שנתי; ציר X – אתרי הניטור. אותיות שונות מציגות הבדל מובהק בין העמודות ($p < 0.05$).

ב-5% בהשוואה לעונות ההידרולוגיות שלפני בניית מערכות השיחים. עם זאת לא נמצאה מגמה ברורה של שינוי במדד יעילות הגשם לאורך כל עונות הניטור.

איור 4 מציג את הסטייה היחסית באחוזים של מדד ה-NDVI הממוצע (בעונות שנבנו מערכות השיחים), עבור כל אתר ביחס לממוצע הרב-שנתי. בעונת 2005 הסטייה מהממוצע הרב-שנתי הייתה שלילית, בדומה ליתר האתרים. עם זאת, הפער בין המדרונות באתר נטיעות 2005 ליתר האתרים היה גדול באופן ניכר והגיע לכדי 47% כחות מהממוצע הרב-שנתי. באופן דומה, בעונת 2009 נמצא שגודל הסטייה מהממוצע הרב-שנתי בעונה זו (75% נמוך מהממוצע הרב-שנתי) נמוך באופן מובהק מהסטייה שנצפתה באתרים שלא נבנו בהם מערכות השיחים, כמו גם במדרונות באתר הנטיעות "2005", שבו נבנו מערכות השיחים ארבע שנים קודם לכן. בעונת 2016 הסטייה מהממוצע הרב-שנתי הייתה שלילית, בניגוד לאתר הביקורת ולאתרי הנטיעות הוותיקים, שהסטייה בהם הייתה גדולה מהממוצע הרב-שנתי (17.6% נמוך מהממוצע הרב-שנתי).



איור 5

ההתפלגות החודשית של מדד NDVI בכל אתר ניטור

העקום הכחול מתאר את ההתפלגות החודשית לפני בניית מערכות השיחים. העקום האדום מתאר את ההתפלגות החודשית אחרי בניית המערכות. העקום הירוק מתאר את ההתפלגות החודשית באתר הביקורת.

לאחר בניית מערכות השיחים ערכו הממוצע של מדד NDVI בכל אתרי הנטיעה הוותיקים היה גבוה באופן מובהק ($p < 0.0001$) במהלך חודשי הסתיו. באתר "2016" שניטע בשלב המאוחר ביותר, זוהתה מגמה דומה, אם כי ללא מובהקות ברורה. באתרים "2005" ו-"2009" היה הערך הממוצע לאחר בניית מערכות השיחים גבוה אף בהשוואה למדרונות הביקורת (0.129, 0.128 ו-0.123, בהתאמה). מגמה דומה נצפתה באתר "2016", אך הערך הממוצע לאחר בניית מערכות השיחים היה דומה למדרונות הביקורת (0.122). נטייה דומה נצפתה במהלך חודשי החורף והקיץ באתרים "2005" ו-"2009" לאחר בניית מערכות השיחים. באתרים האלה היה הערך הממוצע גבוה באופן מובהק ($p < 0.0001$), ואף גבוה מהממוצע בהשוואה למדרונות הביקורת. מנגד, ערך המדד הממוצע באתר "2016" היה נמוך בהשוואה לשנים שלפני בניית מערכות השיחים.

בחינת המהלך העונתי של המדד לפני בניית מערכות השיחים ואחריה בכל אחד מהאתרים מתוארת באיור 5. ניתן לראות בו את התפלגות הערך הממוצע של מדד NDVI לאורך עונת הגשמים. באתרים "2005" ו-"2009" נראה כי ערכי המדד בחודשי הסתיו וראשית החורף גדלו בהשוואה לתקופה שלפני בניית מערכות השיחים. בעוד שבאתר "2005" ניכרת מגמת ירידה במהלך חודש החורף ודמיון במהלך חודשי הקיץ, באתר "2009" ניכרת עלייה משמעותית בערך הממוצע של מדד NDVI במהלך החורף, למעט מרץ (שיא עונת הצימוח). באתר "2016" נראה שערכי NDVI במהלך חודשי החורף והאביב, לאחר בניית מערכות השיחים, נמוכים בהשוואה לתקופה שלפני בניית.

של המהלך העונתי של כיסוי הצומח (איור 5).

לנוכח הממצאים, סביר להניח שלעיתוי בניית מערכות השיחים יש חשיבות גדולה לקצב השיקום, מכיוון שהתבססות צומח עשבוני תלויה בכמות המשקעים, בתכרסות העונתית והרב-שנתית ובתכונות הקרקע. ייתכן שהשינוי הקטן שנמדד באתר "2009" לפני בניית השיחים ואחריה טמון בעובדה שנבנה לאחר רצף של ארבע שנים שחונות (איור 3ב, איור 4), בהשוואה לשינוי המשמעותי שנמדד באתר "2005" שנבנה לאחר שנה גשומה (358 מ"מ).

בעונת הגשמים 2016 כמות המשקעים העונתית הייתה נמוכה ב-30% מהממוצע הרב-שנתי (רק 201.9 מ"מ). כצפוי, באתר שניטע באותה שנה נמדדה ירידה במדד NDVI בהשוואה לממוצע הרב-שנתי. לעומת זאת, באתר הניטור הוותיקים יותר ("2005" ו-"2009") השינוי ב-NDVI היה חיובי למרות העונה השחונה (איור 4). עובדה זו מצביעה על ההשפעה החיובית ארוכת הטווח שיש לבניית השיחים ולהסדרת רעייה על הצומח העשבוני. מאידך גיסא, ייתכן כי העלייה בממוצע העונתי של מדד הצומח בכל יתר אתרי הניטור למרות העונה השחונה קשורה לעונת הגשמים השופעת ב-2015, שנמדדו בה 394.5 מ"מ (51% יותר מהממוצע הרב-שנתי) ושהובילה לשיפור במדדי הצומח גם בכל אתרי ניטור האחרים שהותרה בהם רעייה מבוקרת. בשנים שלפני בניית מערכות השיחים, הערך הממוצע של מדד יעילות הגשם היה נמוך בהשוואה לשנים העוקבות, למעט אתר "2016" שנמדדה בו ירידה בערך הממוצע בהשוואה לשנים שלפני בניית השיחים. עם זאת, העובדה שהערך הממוצע של מדד יעילות הגשם באתר "2016" בתקופה שלפני בניית השיחים גבוה בהשוואה למדרונות הביקורת, נובעת, ככל הנראה, מהשנים הגשומות שנכללו בחישוב הממוצע עד לשנת הבנייה. סביר להניח שהעלייה הניכרת במדד יעילות הגשם באתר "2005" נובעת מאיגום מי הנגר לאורך המדרונות על ידי השיחים, שסייעו להגברת זמינות המים לצומח העשבוני ולמיתון דליפת נגר וסחיפה מהמדרון. נטייה זו לא נצפתה באתר הניטור הצעיר ביותר ("2016") לאחר בניית מערכות השיחים, אך לנוכח הממצאים אנו סבורים שמערכת השיחים במדרונות האלה תוביל למגמה דומה בשנים הקרובות.

מסקנות

במחקר זה נבחנו ההשפעות של נטיעת יער סוואנה הנתמך על ידי מערכות קציר נגר (שיחים) 4, 11, ו-15 שנים ממועד הנטיעה, באתר שהיה חשוף במשך שנים ארוכות לרעיית יתר בלתי מבוקרת. תקופת הניטור נפרסה על פני 21 עונות, החל מעונת

השפעת השנים השחונות בין 2005 ל-2012 ניכרת בכל האתרים, גם בממוצע הרב-שנתי של המשקעים במהלך תקופת הניטור, בהשוואה לממוצע הרב-שנתי באזור. ממוצע המשקעים העונתי בין השנים 2013-2020, לאחר רצף השנים השחונות, דומה לממוצע הרב-שנתי באזור (289, ו-287 מ"מ לשנה, בהתאמה). היעדר מגמה ברורה של שינוי בכמות המשקעים העונתית לאורך תקופת הניטור תואם את הממצאים שתועדו במחקרים אחרים באזור (Argaman et al., 2020). עם זאת, בניגוד למחקרים קודמים שדיווחו על קשר חיובי וברור בין כמות המשקעים העונתית ובין התבססות צומח עשבוני, נמצא קשר מובהק בין המשתנים הללו רק באתר "2009", בשנים שלפני בניית מערכות השיחים ובמדרונות הביקורת (איור 3א). ייתכן כי היעדר קשר זה באתרים האחרים נובע מלחץ הרעייה האינטנסיבי עד לבניית המערכות ונטיעת היער. לראיה, בכל האתרים שהרעייה בהם הופסקה, כולל מדרונות הביקורת, נמצא קשר חיובי וברור בין כמות המשקעים העונתית ובין מדד הצומח. חריג לכלל זה הוא אתר "2016", שמערכות השיחים נבנו בו לאחרונה.

באתרים "2005" ו-"2009" תרומת המשקעים לעלייה במדד הצומח לפני בניית מערכות השיחים הייתה נחותה בהשוואה לשנים העוקבות, שההשפעה של כמות המשקעים על מדד NDVI עלתה בהן באופן ניכר בהשוואה למדרונות הביקורת. מדד יעילות הגשם, המתאר את היחס בין מדד NDVI לכמות המשקעים העונתית, מראה כי בשני האתרים ניכרת עלייה ביעילות ההשקיה בהשוואה לתקופה שלפני בניית השיחים. באתר הוותיק ביותר, "2005", נמצא השיפור הגדול ביותר, שאף עולה על זה שנמדד במדרונות הביקורת. באופן דומה, באתר "2009" ניכר שיפור בערכי מדד יעילות הגשם לאחר בניית השיחים, אך השינוי היחסי נמוך בהשוואה למדרונות הביקורת (9% בהשוואה ל-13%, בהתאמה). הסבר ראשוני לממצא זה הוא ההשפעה השלילית של השנים הראשונות לאחר ההפרה על הממוצע הרב-שנתי, היות שהוכח כי השנים האלה היו נמוכות במיוחד בכל האתרים בשנת ההקמה (איור 4). באתר "2016" הערך הממוצע לאחר בניית השיחים נמוך בהשוואה לתקופה הקודמת וכן בהשוואה למדרונות הביקורת. ממצאים אלה מאששים ממצאי מחקרים אחרים (Stavi et al., 2015; Stavi and Argaman, 2016) שבחנו את השפעת מערכות קציר הנגר על תכונות הקרקע והצומח העשבוני במדרונות ביער השגרירים.

ניכר שבטווח הקצר בניית מערכות השיחים גורמת לירידה במדד הצומח בעונת הנטיעה (איור 4). עם זאת, השינוי החיובי במדד הצומח בטווח הארוך מעיד על התועלת ארוכת הטווח של בניית מערכות קציר הנגר, המסייעות להתבססות צומח עשבוני בהשוואה למדרונות ללא התערבות והסדרה

היחסי ביעילות ההשקיה נמצא נמוך ביחס למדרונות שלא הופרו, אך הוא נובע ככל הנראה מעיתוי הבנייה, שהתרחשה במהלך רצף שנים שחונות.

ממצאים אלה מאששים חלקית הנחות שנבחנו במחקרים קודמים, שהוערך בהם כי שיפור בתכונות הקרקע בעקבות בניית מערכות שיחים יוביל לשיפור במצב הצומח במדרונות כעשור לאחר בנייתם. עם זאת, נראה כי פרק הזמן הנדרש לשיקום ולשיפור של מצב הצומח במדרונות שנבנו בהם מערכות השיחים, גדול מעשור. יש לסייג ממצא זה נוכח העובדה שהמדרונות שנבחנו במחקר הופרו במהלך שנים שחונות.

מעבר לכך, ראוי לציין כי מידת ההשפעה על מגוון הצומח ויחסי הגומלין בין הקרקע במדרונות ושטחי האיגום בשיחים לא נבחנה במחקר זה. התהליכים האלה ייבחנו במסגרת המחקרים הקרובים המבוצעים בתחומי יער השגרירים.

תודות

המחברים מודים למעריכים האנונימיים על הערותיהם המועילות.

הגשמים 2000 ועד 2020, ואפשרה בחינה של השינויים לאורך השנים במדרונות המנוטרים וביניהם. במהלך תקופה זו תועד רצף של שמונה שנים שחונות – בין השנים 2005 ועד 2012 – שכמות המשקעים העונתית בהן הייתה נמוכה באופן מובהק מהממוצע הרב-שנתי. העונה הראשונה ברצף השנים השחונות (2005) הייתה העונה הראשונה שניטעו בה מדרונות בתחומי היער.

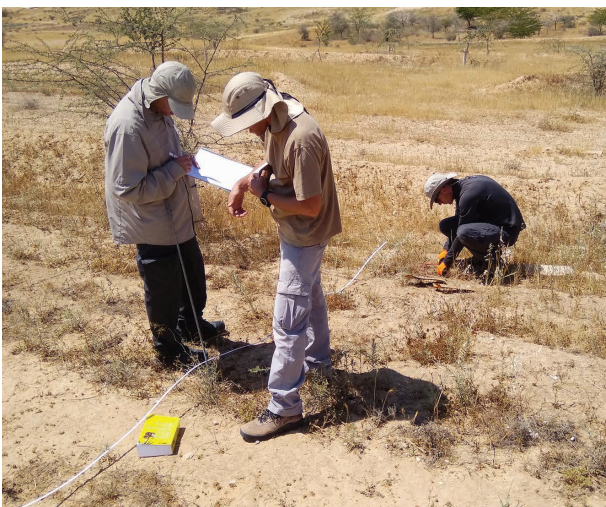
למרות ההשפעה המיידית של בניית השיחים, שבאה לידי ביטוי בדעיכה מיידית של מדד NDVI בהשוואה לממוצע הרב-שנתי, נמצא כי בטווח הארוך בניית מערכות שיחים מגבירה את הצימוח העשבוני במדרונות. נוסף על כך, נמצא כי חוזק הקשר בין המשקעים ובין מדד הצומח גדל לאחר בניית מערכות השיחים, ככל הנראה משילוב של שני גורמים עיקריים: א. מניעת רעייה בשנים הראשונות לאחר השינוי בשימוש הקרקע; ב. שיפור זמינות המים לצומח בעקבות שיפור בכושר איגום ואצירת מי הנגר במדרונות.

במקביל, בטווח הארוך, נמצא שתועלת ההשקיה (גשם + נגר) להתפתחות צומח עונתי במדרונות בהם שנבנו בהם שיחים לפני 15 שנים עולה על הערך הממוצע שנמדד במדרונות הביקורת. עם זאת, בניגוד להשערה שהוצגה במחקרים קודמים, במערכות שיחים שנבנו לפני כעשור השיפור

מקורות

- Chang J, Tian JX, Zhang ZX, Chen X, Chen YZ, Chen S, et al. 2018. Changes of grassland rain use efficiency and NDVI in Northwestern China from 1982 to 2013 and its response to climate change. *Water*, 10(11), 1689.
- Chevalier M, Russel JC, and Knape J. 2019. New measures for evaluation of environmental perturbations using Before-After-Control-Impact analyses. *Ecological Applications*, 29(2), e01838.
- Deitch MJ, Sapundjieff MJ, and Feirer ST. 2017. Characterizing precipitation variability and trends in the world's Mediterranean-climate areas. *Water*, 9(4), 259.
- Drori R, Ziv B, Saaroni H, Etkin A, and Sheffer E. 2021. Recent changes in the rain regime over the Mediterranean climate region of Israel. *Climatic Change*, 167(1–2), 15.
- Forster EJ, Healey JR, Dymond C, and Styles D. 2021. Commercial afforestation can deliver effective climate change mitigation under multiple decarbonization pathways. *Nature Communications*, 12(1), 3831.
- Golodets C, Sternberg M, Kigel J, Boeken B, Henkin Z, Seligman NAG, et al. 2015. Climate change scenarios of herbaceous production along an aridity gradient: Vulnerability increases with aridity. *Oecologia*, 177, 971–979.
- בורו נ, טיקוצקי ע וארגמן א. 2023. מחקר אקולוגי ארוך טווח (LTER) לחקר נטיעות בצפון הנגב בעיר השגרירים. דוח התקדמות למחקר 14-058-17-90.
- השירות המטאורולוגי הישראלי. 2023. אטלס אקלימי. <https://ims.gov.il/he/> ClimateAtlas
- יוסף י, בהר"ד ע, אוזן ל, אוסטינסקי-צדקי א, כרמונה י, חלפון נ ושות'. 2019. שינוי האקלים בישראל – מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורה והמשקעים. דו"ח מחקר מס' 0000075-2019-0804-4000, השירות המטאורולוגי הישראלי.
- Argaman E, Barth, R, Moshe Y, and Ben-Hur M. 2020. Long-term effects of climatic and hydrological variation on natural vegetation production and characteristics in a semiarid watershed: The northern Negev, Israel. *Science of the Total Environment*, 747, 141146.
- Brand D, Moshe I, Shaler M, and Zuk A. 2008. *Afforestation in Israel – reclaiming ecosystems and combating desertification*. Keren Kayemeth Lelsrael-Jewish National Fund. <https://www.kkl-jnf.org/research-and-development/forestry-and-ecology-research/professional-materials/combating-desertification-rehabilitating-ecosystems/>

- Rotem G, Bouskila A, and Rothschild A. 2014. *Ecological effects of afforestation in the Northern Negev*. Society for the Protection of Nature in Israel. 65pp
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, and Deering DW. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains. *Ert. Nasa Special Publication*, 351, 309–317.
- Schwärzel K, Zhang L, Montanarella L, Wang Y, and Sun G. 2020. How afforestation affects the water cycle in drylands: A process-based comparative analysis. *Global Change Biology*, 26, 944–959.
- Shachak M, Sachs M, and Moshe I. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1, 475–483.
- Stavi I and Argaman E. 2016. Soil quality and aggregation in runoff water harvesting forestry systems in the semi-arid Israeli Negev. *Catena*, 146, 88–93.
- Stavi I, Fizik E, and Argaman E. 2015. Contour bench terrace (shich/shikim) forestry systems in the semi-arid Israeli Negev: Effects on soil quality, geodiversity, and herbaceous vegetation. *Geomorphology*, 231, 376–382.
- Stavi I, Siad SM, Kyriazopoulos AP, and Halbac-Cotoara-Zamfir R. 2020. Water runoff harvesting systems for restoration of degraded rangelands: A review of challenges and opportunities. *Journal of Environmental Management*, 255, 109823.
- Stroosnijder L, Moore D, Alharbi A, Argaman E, Biazin B, and Van der Elsen E. 2012. Improving water use efficiency in drylands. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4, 497–506.
- Thiault L, Kernaleguen L, Osenberg CW, and Claudet J. 2017. Progressive-change BACIPS: A flexible approach for environmental impact assessment. *Methods in Ecology and Evolution*, 8, 288–296.
- USGS. 2023. MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>
- Yosef Y, Aguilar E, and Alpert P. 2019. Changes in extreme temperature and precipitation indices: Using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology*, 39, 5022–5045.
- Grum B, Woldearegay K, Hessel R, Baartman JEM, Abdulkadir M, Yazew E, et al. 2017. Assessing the effect of water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM). *Catena*, 159, 20–34.
- Helman D, Mussery A, Lensky IM, 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, 32–39.
- LTER ISRAEL. 2023. Israeli Long-term Ecological Research Network. <http://lter-israel.org.il>
- Middelton N. 2019. Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. *Geosciences*, 9(6), 261.
- Moreno-Gutierrez C, Battipaglia G, Cherubini P, Delgado-Huertea A, and Querejeta JI. 2015. Pine afforestation decreases the long-term performance of understorey shrubs in a semi-arid Mediterranean ecosystem: A stable isotope approach. *Functional Ecology*, 29, 15–25.
- Mussery A, Helman D, Leu S, and Budovsky A. 2016. Modeling herbaceous productivity considering tree-grass interactions in drylands savannah: The case study of Yatir farm in the Negev drylands. *Journal of Arid Environments*, 124, 160–164.
- Nearing MA, Yin SQ, Borrelli P, and Polyakov VO. 2017. Rainfall erosivity: An historical review. *Catena*, 157, 357–362.
- Orenstein DE, Groner E, Argaman E, Boeken B, Preisler Y, Shachak M, et al. 2012. An ecosystem services inventory: Lessons from the Northern Negev long-term social ecological research (LTSER) platform. *Geography Research Forum*, 32, 96–118.
- Paz-Kagan T, Ohana-Levi N, Shachak M, Zaady E, and Karnieli A. 2017. Ecosystem effects of integrating human-made runoff-harvesting systems into natural dryland watersheds. *Journal of Arid Environments*, 147, 133–143.
- Ramón Vallejo V, Smanis A, Chirino E, Fuentes D, Valdecantos, and Vilagrosa A. 2012. Perspectives in dryland restoration: Approaches for climate change adaptation. *New Forests*, 43, 561–579.



עבודת שדה בחלקה "2009" ביער השגרירים, 2018
צילום: אלי ארגמן



לימן מוצף מים, 2021
צילום: אלי ארגמן



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

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

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

תקציר

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

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

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

מילות מפתח

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

מבוא

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

זיהוי התהליכים הבסיסיים המווסתים את תפקודי המערכת האקולוגית

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

איתור הגורמים המובילים לדרדרון המערכת

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

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

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

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



איור 1

יחידת הנוף האקולוגית הבסיסית – קרום קרקע ושיח

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

תהליכי סחיפה, ובכך להפחית את הפגיעה במשאבי הקרקע ואת ההתדרדרות של המערכת האקולוגית. קציר נגר הוא אמצעי מרכזי לאיגום משאבים בקרקע, מה שמאפשר הגדלה של הייצור הראשוני והשניוני ושל המגוון הביולוגי של המערכת האקולוגית (Hoffman et al., 2017).

כחלק מתהליך השיקום מבוצעת מניפולציה, והנגר העילי נאסף לתלמים הנבנים במדרונות (שיחים) ולסכרים המוקמים בערוצים (לימנים), שבהמשך ניטעים בהם עצים להגברת הייצור הראשוני ולהגדלת המגוון הנופי. מי הנגר נאספים מהמדרונות ומערוצי הנחלים, ומאפשרים למים לחדור לקרקע בכמות של לפחות פי שלושה מכמות המשקעים השנתית הממוצעת (איור 3) (Stavi et al., 2015). כמויות הנגר הגדולות מאפשרות חדירת מים עמוקה לפרופיל הקרקע, ובכך מפחיתות את איבוד המים על ידי אידיוי ומספקות מים לצמחייה לפרקי זמן ממושכים.

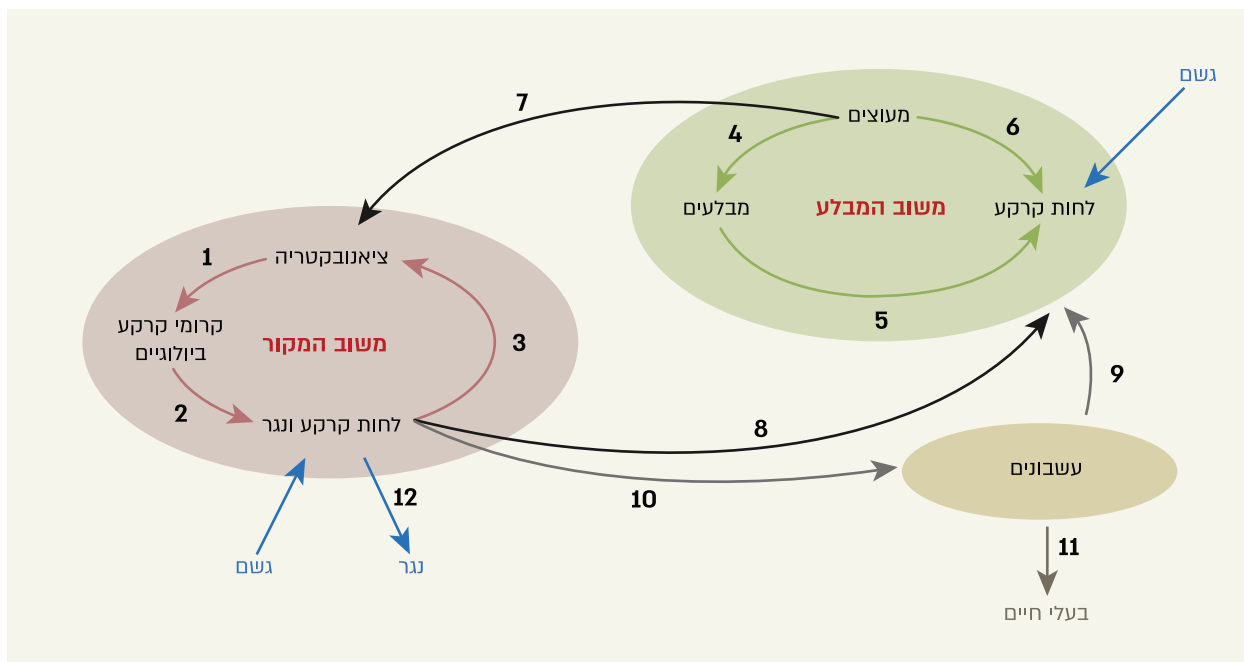
מחקרים מראים שאגירת מים חשובה בייחוד במהלך שנות בצורת, מאחר שיש בהן סיכון להתייבשות נרחבת ולתמותת צמחים (Paz-Kagan et al., 2014). באזור ללא איסוף נגר חלה תמותה גדולה של שיחים (איור 4, Stavi et al., 2021).

וסחיפת קרקע (Hoffman et al., 2013). המחקרים הראו שאזורים עם קרום קרקע ביולוגי וללא שיחים יצרו במהלך אירועי גשם כמויות גדולות של נגר עילי, אך לא כך אזורים מכוסים בשיחים. ממצאים נוספים איששו את ההנחה העיקרית שלשיחים תפקיד מרכזי בשימור משאבי המערכת האקולוגית (Hoffman et al., 2017). הפרעות, כגון רעייה ודריסה, פוגעות בתפקודם של השיחים כמבליעי מים ומהנדסי מערכות אקולוגיות, ומובילות להתדרדרות המערכת האקולוגית (Eldridge et al., 2000).

לסיכום, מחקרים שנערכו בתחנת פארק סירת שקד וסביבתה מעידים כי תהליכי המדבור נובעים בעיקר מאובדן כיסוי שיחים עקב אירועי בצורת ורעייה, ומאשרים את המודל (איור 2).

שיקום תפקודי: שינוי מצב של נוף מדורדר

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



איור 2

מודל הממחיש את התהליכים והמשובים במערכות האקולוגיות בנגר

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

ניטור השפעת השיקום והערכת הצלחתו במונחים של שירותי המערכת האקולוגית

של נגר במבלעים מעשה ידי אדם משפרת משמעותית את איכות הקרקע (Paz-Kagan et al., 2014).

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

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



איור 3

פעולות שיקום תפקודי בנגב על ידי שליטה בזרימת הנגר ונטיעת עצים

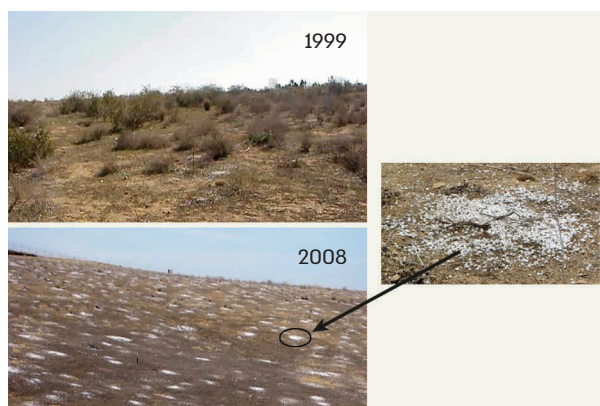
א. שיקום תפקודי במדרונות על ידי מבלעים מעשה ידי אדם (שיחים) (צילום יצחק משה); ב. שיקום תפקודי בערוץ על ידי מבלעים מעשה ידי אדם (לימנים) (צילום: מוטי שריקי).



איור 5

שיקום תפקודי של מערכת מדברית

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



איור 4

שינוי מצב המערכת האקולוגית ממצב תפקודי למצב ממודבר

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

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

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

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

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

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

סיכום

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

מקורות

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

- Peters DPC, Okin GS, Herrick JE, Savoy HM, Anderson JP, Scroggs SLP, et al. 2020. Modifying connectivity to promote state change reversal: The importance of geomorphic context and plant-soil feedbacks. *Ecology*, 101(9), 1–13.
- Peters DPC, Yao J, Sala OE, and Anderson JP. 2012. Directional climate change and potential reversal of desertification in arid and semiarid ecosystems. *Global Change Biology*, 18(1), 151–163.
- Segoli M, Ungar ED, and Shachak M. 2008. Shrubs enhance resilience of a semi-arid ecosystem by engineering and regrowth. *Ecohydrology*, 1(4), 330–339.
- Shachak M and Boeken BR. 2010. Patterns of biotic community organization and reorganization: A conceptual framework and a case study. *Ecological Complexity*, 7(4), 433–445.
- Shachak M and Lovett GM. 1998. Atmospheric deposition to a desert ecosystem and its implications for management. *Ecological Applications*, 8(2), 455–463.
- Shachak M, Sachs M, and Moshe I. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475–483.
- Stavi I, Fizik E, and Argaman E. 2015. Contour bench terrace (shich/shikim) forestry systems in the semi-arid Israeli Negev: Effects on soil quality, geodiversity, and herbaceous vegetation. *Geomorphology*, 231, 376–382.
- Stavi I, Zaady E, Gusarov A, and Yizhaq H. 2021. Dead shrub patches as ecosystem engineers in degraded drylands. *Journal of Geographical Sciences*, 31(8), 1187–1204.
- Tal A. 2013. All the trees of the forest: Israel's woodlands from the bible to the present. Yale University Press.
- Yair A and Shachak M. 1982. A case study of energy, water and soil flow chains in an arid ecosystem. *Oecologia*, 54(3), 389–397.
- Zaady E, Yonatan R, Shachak M, and Perevolotsky A. 2001. The effects of grazing on abiotic and biotic parameters in a semiarid ecosystem: A case study from the Northern Negev Desert, Israel. *Arid Land Research and Management*, 15(3), 245–261.
- de Groot RS, Alkemade R, Braat L, Hein L, and Willemsen L. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260–272.
- Eldridge DJ, Zaady E, and Shachak M. 2000. Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev, Israel. *Catena*, 40(3), 323–336.
- Eldridge DJ, Zaady E, and Shachak M. 2002. Microphytic crusts, shrub patches and water harvesting in the Negev Desert: The Shikim system. *Landscape Ecology*, 17(6), 587–597.
- Hoffman O, Yizhaq H, and Boeken B. 2017. Shifts in landscape ecohydrological structural-functional relationship driven by experimental manipulations and ecological interactions. *Ecohydrology*, 10(3), e1806.
- Hoffman O, Yizhaq H, and Boeken B. 2013. Small-scale effects of annual and woody vegetation on sediment displacement under field conditions. *Catena*, 109, 157–163.
- Kollmann J, Meyer ST, Bateman R, Conradi T, Gossner MM, de Souza Mendonça M, et al. 2016. Integrating ecosystem functions into restoration ecology – recent advances and future directions. *Restoration Ecology*, 24(6), 722–730.
- Majer JD. 2009. Animals in the restoration process – Progressing the trends. *Restoration Ecology*, 17(3), 315–319.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and Human Well-Being – A Framework for Assessment. In: Millennium Ecosystem Assessment. Island press.
- Parks CG, Bernier P, Bytnerowicz A, Hånell B, Allen CD, Macalady AK, et al. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–684.
- Paz-Kagan T, Panov N, Shachak M, Zaady E, and Karnieli A. 2014. Structural changes of desertified and managed shrubland landscapes in response to drought: Spectral, spatial and temporal analyses. *Remote Sensing*, 6(9), 8134–8164.
- Paz-Kagan T, Shachak M, Zaady E, and Karnieli A. 2014. A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma*, 230, 171–184.

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





יער יתיר: בחינה של השפעת צפיפות העומד וניהול הרעייה על תפקודו של יער מחטני על סף המדבר

יעל גרונולד^{1*} | אלה פוזנר¹ | איל רוטנברג² | דן יקיר² | תמיר קליין¹

- 1 המחלקה למדעי הצמח והסביבה, מכון ויצמן למדע
- 2 המחלקה למדעי כדור הארץ וכוכבי הלכת, מכון ויצמן למדע
- * yael.grunwald@weizmann.ac.il

תקציר

הוא יוצר יתרון בממשק עתידי. מבחינת התחדשות היער לא נצפה יתרון כזה, שכן כמעט כל הזריעים מתו בקיץ הראשון, והבודדים ששרדו סבלו מנזקי הרעייה. תחנת הניטור ארוך הטווח ביער יתיר מוסיפה נדבך חשוב למערך תחנות המחקר והניטור ארוכי הטווח מבחינת תרומתה המקומית לניהול היער של קק"ל ולהבנת תהליכים אקולוגיים ביער. נוסף על כך, עקב חשיבותו הרבה של יער יתיר כמודל ליער בשינוי אקלים, מהוות תוצאות הניסוי מרכיב בעל חשיבות עולמית לניהול יערות.

יער יתיר הוא יער נטוע של אורן ירושלים בעיקר, הנמצא בשולי המדבר. המחקר ביער הצטרף למערך רשת הניטור ארוך הטווח בשנת 2009, עם ניסוי בעל אופי ממשקי. מספר חלקות יער דוללו לצפיפויות שונות, באופן דומה לתחנה ביער הקדושים: 10, 20, ו-30 עצים לדונם, וכן נבחרו חלקות ביקורת. מחצית מכל חלקה גודרה במטרה לבחון השפעות של רעיית צאן. מדדי הניטור כללו משתנים פיזיולוגיים ברמת העץ – צימוח מחטים, גזע ושורשים, נביטת זריעים ושרידותם, ומשתנים אקולוגיים ברמת החלקה – צימוח תת-היער, רטיבות הקרקע ועוד. ב-13 השנים שחלפו מאז תחילת הניסוי חלה גדילה עודפת עקבית של עצים בחלקות המדוללות, בעיקר בצפיפות הנמוכה של 10 עצים לדונם. אחת מהשערות המחקר הייתה כי הסיבה לכך היא ירידה בתחרות על משאב המים. במחקר נמצא כי הגורם העיקרי היה ירידה בתחרות על משאב האור. מכאן, שהדילול היטיב עם העצים והעלה את יעילות ניצול המים שלהם, ועל כן

מילות מפתח

אורן ירושלים, דילול, יובש, יער באזור צחיח למחצה

רקע: היסטוריית היער

השנתיים שאף הושקו במהלך העונה היבשה הראשונה לאחר השתילה.

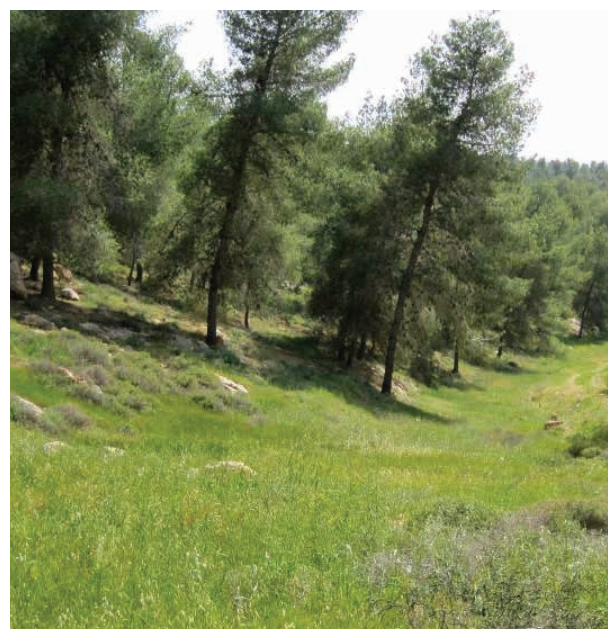
הצמחייה המקומית מורכבת ממיני צמחים של בתת ספר, כגון סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*), לענת המדבר (*Artemisia sieberi*) קיפודן בלנש (*Echinops polyceras*), שלהבית קצרת שיניים (*Phlomis brachyodon*) וקדד נאה (*Astragalus cretaceus*). כמו כן, ניתן למצוא באזור שרידים של שיחים ועצים שלחלק מהם זהו גבול תפוצתם הדרומי בארץ – כגון עוזרר קוצני (*Crataegus aronia*), אגס סורי (*Pyrus syriaca*), שקד קטן עלים (*Amygdalus korschinskii*) ואשחר ארץ-ישראלי (*Rhamnus lycioides*). יער יתיר כיסה חלק ניכר מהשטח שהיה קיים בו טיפוס צומח זה, שנותר בשמורת הטבע הר עמשא ובשולי היער. תת-היער שניטע בצפיפות (30–40 עצים לדונם) מתאפיין במיעוט של צמחייה מקומית בכל מקום שחופת העצים ציפופה ואינה מאפשרת חדירה של קרינה. עם זאת, בקרחות ובשולי היער ניתן למצוא שרידי צומח מהטיפוסים הנזכרים לעיל, ובעיקר שיחים אופייניים לספר המדבר בכיסוי דליל, המהווים כיום את הצמחייה המקומית שיוצרת את תת-היער הנטוע (מכון דשא 2006; סולר ושות', 2006; Vogel et al., 1986).

צמחיית תת-היער נתונה למשטרי רעייה מתונים עד כבדים, כפי שהייתה לפני הייעור במשך אלפי שנים (ויזל, 1984). העדר המקומי מורכב מכמה מאות כבשים ועיזים הרועות מדי יום בעונת הרעייה. משטרי הרעייה נאכפים על ידי יערני היער ומוגבלים ל-2,500–3,000 ראשי צאן ליום ברחבי היער, לתקופה של חמישה או שישה חודשים בשנה, בהתאם לכמות המשקעים השנתית. בתקופה שבין פברואר לאפריל צמחיית תת-היער נשלטת על ידי צמחייה עשבונית במקביל לנביטת האורנים, ועל כן היער נתון ללחץ רעייה כבד. בהמשך, סביב חודש מאי, הצמחייה העשבונית מתייבשת, ואיתה יורד לחץ הרעייה. במהלך העונה היבשה (יוני עד אוגוסט) העדרים ניזונים בעיקר מזרעי העשבונים ומהצמחייה המעוצה. אוכלוסיית חיות הבר ביער יתיר ובסביבתו מורכבת מכ-100 פרטים של צבי ישראלי (*Gazella gazelle*) וממכרסמים גדולים כמו ארנבת מצויה (*Lepus capensis*) ודורבן מצוי (*Hystrix indica*). היער משמש גם אתר בילוי לקהילות המקומיות לאורך כל השנה.

הקמת חלקות המחקר

תחנת המחקר הקבועה ביער יתיר הוקמה על ידי קבוצת המחקר של פרופ' דן יקיר ממכון ויצמן למדע בשנת 2000 (Grünzweig et al., 2003) במטרה לחקור את התנהגותו של יער אורנים נטוע על סף המדבר. לאחר מספר שנים של מעקב אחר פעילות היער החלו לעלות שאלות באשר

יער יתיר הוא היער הנטוע הגדול בישראל, והוא משתרע על שטח של כ-30,000 דונם כ-30 ק"מ מזרחית לבאר שבע, באזור ההררי של צפון הנגב (Schiller, 2010). האזור מוגדר כצחיח למחצה, ומקבל כמות משקעים ממוצעת של כ-285 מ"מ בשנה. סלע המקום מורכב מגיר ומקירטון, והקרקה המקומית מורכבת מלס רדוד ממקור איאולי עד לעומק של 20 ס"מ ומאדמת רנדזינה קלה עד עומק של 20–100 ס"מ. בליית הסלע יצרה גבעות עגולות עם שיפועים מתונים, בעלות אחוז גבוה של אבנים וכיסוי סלע עילי (Preisler et al., 2021). מי התהום של אקוות ההר המערבי נמצאים בעומק של כ-300 מטר מתחת לפני השטח ואינם זמינים לצמחייה, ולכן צמחיית היער מסתמכת על המשקעים בעונה הגשומה (נובמבר–אפריל) כמקור מים כמעט בלעדי, ובמידה מצומצמת מספיחת הלחות כמקור מים בעונה היבשה (מאי–אוקטובר) (Schiller and Atzmon, 2009; Schiller, 2010; Qubaja et al., 2020). היער ניטע בשנים 1965–1969, והוא מורכב בעיקר מעצי אורן ירושלים (*Pinus halepensis*) (איור 1), ומהווה את גבול התפוצה הדרומי והיבש ביותר בעולם של מין זה ושל יערות אורן בכלל. בשנתיים הראשונות של הנטיעה המשקעים שירדו היו גבוהים במיוחד לאזור (השירות המטאורולוגי הישראלי, 1960–2022) וסייעו מאוד להתבססות השתילים בני



איור 1

יער יתיר באביב

בשולי יער האורנים ניתן לראות את תת-היער המורכב משילוב של שיחים ועשבונים מקומיים המכסים את השטחים שאינם מוצללים על ידי העצים. צילום: אלה פוזנר ופלג בר און.

עם תוצאות מחקר הדילול מהחלקות מאפשר מעקב ארוך טווח אחר מגמות של תפקוד היער כתלות בגורמי האקלים והסביבה, תוך שילוב ממשקי ניהול שונים. במסגרת תכנון החלקות הוגדר אזור חיץ של 15 מטר לכל כיוון סביב כל חלקה להגבלת ההשפעות החיצוניות על אזור הניסוי, וסומן באמצעות יתדות מתכת מבוטנות. כמו כן, נקבעו עבור כל חלקה שני חתכי רצועה מקבילים (טרנסקטים) שפונים ממזרח למערב בשטח של 4x30 מ"ר, שהגדירו רצועות מעקב קבועות לניטור מדגמי מדויק לאורך השנים (איור 2).

בהמשך, בשנת 2010, חולקה כל חלקה לשני חלקים של 2.5 דונם כל אחד במטרה לבחון אם מניעת רעייה עשויה לסייע בהתחדשות. לשם כך גודרה מחצית משטחה של כל חלקה למניעת כניסה של עדרים המגיעים מהכפרים הסמוכים, והמחצית השנייה של כל חלקה נותרה נגישה (איור 3). במהלך הקמת החלקות וסימון העצים נערכו מדידות וסקרים מקדימים, שכללו את גובה העצים וקוטר הגזע בגובה החזה (DBH – Diameter at Breast Height) של העצים שנבחרו למעקב ארוך טווח, וכן של העצים העתידיים להיכרת לצורך קביעת כמות הביומסה שתוצא מהיער. נוסף על כך, נערכו מדידות קרינה לקביעת כיסוי העלווה (LAI – Leaf Area Index), ספירת נבטים לאורך החתכים ומדידת כיסוי הצומח המעוצה.

מטרות המחקר העיקריות של התחנה

בדיקת ההשפעה שיש לצפיפויות שונות של עומדים ביער על יכולת ההתחדשות הטבעית של האורנים ועל חיוניות

ליכולת התחדשותו ושרידותו בטווח הרחוק באופן בר-קיימא, באזור שכמות המשקעים הממוצעת בו נעה סביב 285 מ"מ בשנה וצפייה לרדת עוד בעתיד. הנתונים שנאספו בשנים הראשונות למחקר הצביעו על כך שכנראה יכולת ההתחדשות של היער ושרידותו כיער בר-קיימא מוגבלות, ורצוי להרחיב את שאלת המחקר כך שתכלול בחינה של ממשקים אפשריים לניהול ארוך טווח של היער שיתמכו ביכולתו להתחדש. מחקרים נוספים שהתבצעו ביערות קק"ל והחלו כמה שנים קודם לכן, כגון ביער הקדושים (Calev et al., 2016), ובעולם (Bréda, 2003; Martín-Benito et al., 2010; Ruano et al., 2013; del Campo et al., 2014; Navarro-Cerrillo et al., 2016) מצאו כי דילול היער ומניעה או ניהול מבוקר של רעייה עשויים לתמוך בהתחדשות היער ובהתבססותם של עצים צעירים ולעודד אותן. נמצא שדילול מושכל של עצים בוגרים מקטין את התחרות על משאבים כמו אור, מים וחומרי הזנה, ושמניעת רעייה בתקופות מסוימות של השנה עשויה לצמצם את אכילת הזרעים על ידי עדרי הצאן ולהגדיל את סיכוייהם להתבסס ולהתפתח.

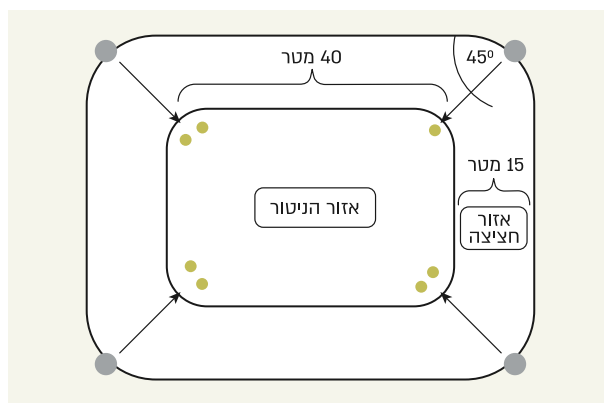
בשנת 2009, לאחר סקר מקיף, נבחרו וסומנו 21 חלקות ניסוי בשטח של כ-5 דונם האחת (70x70 מ"ר או 110x50 מ"ר), הכוללות עצים בני אותו הגיל. 15 מהחלקות דוללו לשלוש רמות צפיפות של 10, 20 ו-30 עצים לדונם, ושש חלקות הוגדרו כחלקות ביקורת מבלי שעברו דילול, ובהן גדלים עצים בצפיפויות שנעות בין 20 ל-40 עצים לדונם. חלקות המחקר שנבחרו משתרעות ברובן על שטח שאינו משופע, ונמצאות במרחק של כ-500 מטר מתחנת הניטור וממגדל השטפים של יער יתיר. שילוב הנתונים מהמגדל



איור 3

פריסת חלקות הניסוי ביער יתיר

צבעי המסגרת מייצגים את צפיפות העומד הסופית של החלקה: תכלת – 10 עצים לדונם, כחול – 20 עצים לדונם, ירוק – 30 עצים לדונם, כתום – ביקורת. הצבע האפור מייצג את האזור המגודר בכל חלקה.



איור 2

תרשים סכמטי של חלקת מחקר

שטח כל חלקה כ-5 דונם. הנקודות האפורות הן פינות החלקה, והנקודות הירוקות הן העצים שנבחרו באזור הניטור. בשלוש פינות של החלקה נבחרו שני העצים הראשונים (זווית כניסה של 45 מעלות), ובפינה הרביעית נבחר רק עץ אחד.

בקצב השטפים ברמת העץ הבודד עם הירידה בצפיפות העצים, ולכן השערת המחקר השנייה הייתה שבחלקות המדוללות קצב ההטמעה וניצול המים על ידי כלל העצים בחלקה יהיה דומה לזה שבחלקות הצפופות יותר, או נמוך ממנו. מבחינת התחדשות היער השערת המחקר הייתה כי היובש בקיץ מגביל את שרידות הזרעים, וכי לרעייה תפקיד שלילי בהיבט זה.

השערת המחקר

בהתבסס על מחקרים קודמים שבחנו את השפעות דילול היער, ועל יחסי הגומלין בין המדדים הפיזיולוגיים של תפקוד עצים, הנחת המחקר הייתה שדילול העצים ביער צחיח למחצה ישפיע על שטפי המים, הפחמן והאנרגיה ועל יחסי הגומלין ביניהם בסדרה של אירועים המשפיעים האחד על השני: דילול העצים יביא לעלייה ברמות הקרינה הפוטוסינתטית הפעילה (PAR – Photosynthetic Active Radiation) מתחת לחופה ולעלייה בגירעון לחץ האדים (VPD – Vapor Pressure Deficit) שהעצים שנותרו בחלקה נחשפים אליהם. בעקבות זאת, יעלו קצב הטמעת הפחמן (A – Assimilation), רמת הדיות (T – Transpiration) וקצב הצמיחה ברמת העץ הבודד (G – Growth). לעומת זאת, ברמת החלקה תתקזז העלייה

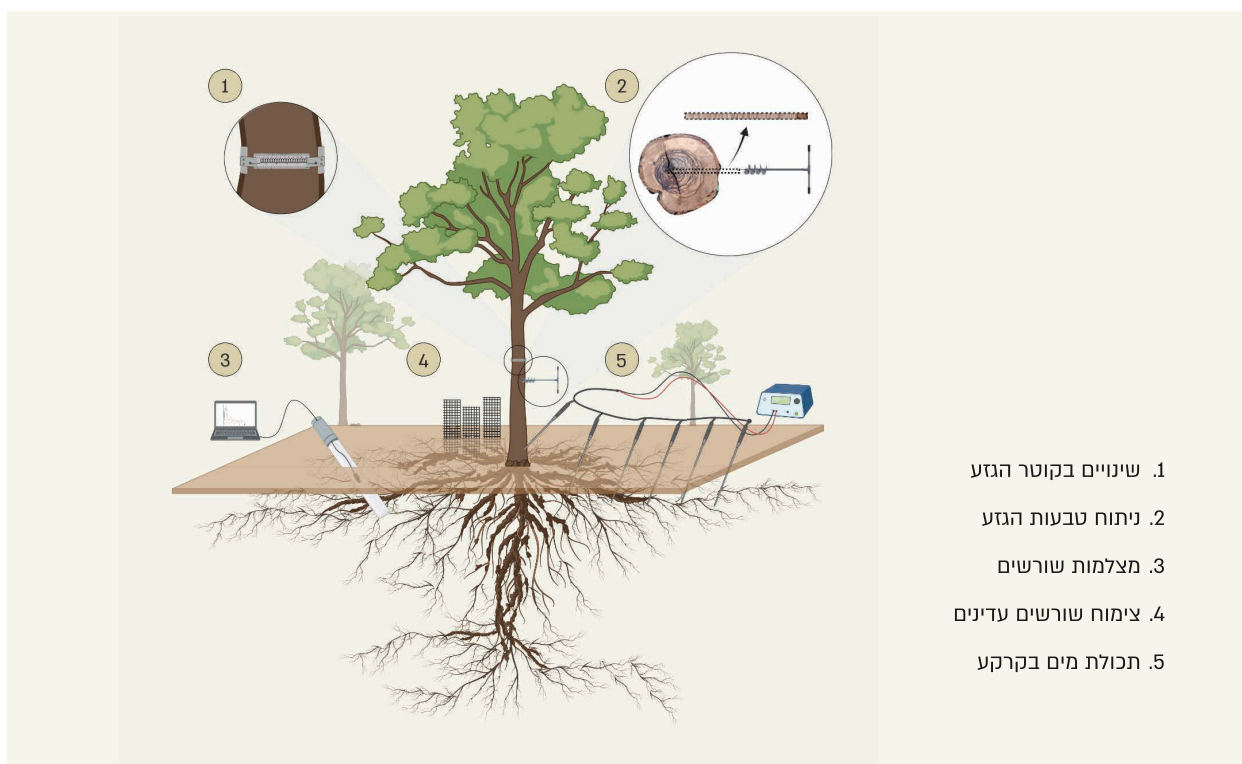
מדדים עיקריים הנמדדים בתחנת המחקר

במהלך השנה מתבצעות מדידות קבועות:

שינוי בהיקף גזע העץ ליחידת זמן – השינוי נמדד באמצעות דנדרומטרים, שהם טבעות ברזל המקיפות את גזע העץ בגובה 1.3 מטר (DBH). קצב שינוי קוטר הגזע בזמן נתון על פי תקופות השנה עשוי להצביע על מידת חיוניות העצים (איור 4).

מידת שטח העלווה – שינויים בשטח העלווה הם מדד לקצב גידול העצים, וכך ניתן ללמוד כיצד העצים מושפעים מתנאי הסביבה, ומה מידת חיוניותם.

כיסוי הצומח המעוצה – נערך מעקב אחר הגדילה והשרידות



איור 4

תיאור של חלק מהשיטות שיושמו עבור העץ הבודד לבחינת ההשפעה של דילול החלקות המדידות בחנו מדדים מעל לקרקע ומתחתיה כדי להבין טוב יותר כיצד זמינות המים בקרקע משפיעה על הרקמות השונות של העץ.

קודמים שכללו דילול חלקות יער צפופות, נרשמו צמיחה והתחדשות בקרב העצים הנותרים הודות לעלייה מיידית בזמינות האור, וכן ירידה בתמותה בשל יובש שנגרם מתחרות על משאב המים (Moreno-Gutiérrez et al., 2013; Sohn et al., 2011). ההשפעה של הפחתת התחרות ניכרה בייחוד באתרים באזורים יובשניים (Moreno and Cubera, 2008). בשנת 2019 פורסם לראשונה כיצד הגיבו העצים בחלקות הניסוי לטיפולי הדילול במהלך השנים הראשונות למחקר (Tsamir et al., 2019). המחקר בדק את הקשר בין צפיפות העצים לבין קצב קיבוע הפחמן וקצב הדיות, וכיצד מושפעים מכך הצימוח והתחדשות של העצים שנותרו בחלקה, וכן אם ישנה השפעה על יעילות ניצול המים שלהם (Water Use Efficiency – WUE). כמו כן, נערך ניסיון לבדוק כיצד שינויים אלה באים לידי ביטוי ברמת העץ הבודד וברמת החלקה השלמה (Klein et al., 2014).

כדי לבצע את ההערכות האלה נמדדו חילופי הגזים ברמת העלה (קיבוע פחמן דו-חמצני, דיות), השינויים בקוטר הגזע (איור 4), רמות הקרינה שמשמשת לקיבוע פחמן (PAR) ו-VPD. מכיוון שמדידות חילופי הגזים התבצעו ברמת העלה במספר נקודות זמן קבועות (סביב השעות 11:00 ו-14:00), חושב שטח העלים הכולל של העץ הבודד כדי ללמוד על פעילות העץ כולו. החישוב נערך בעזרת משוואות אלומטריות שפותחו במיוחד עבור עצי האורן ביער יתיר, ומביאות בחשבון את קוטר הגזע ואת ממדי הנוף (Grünzweig et al., 2007). שילוב עם מדידות חילופי הגזים ברמת העלה מאפשר לחשב את הקצב היומי והחודשי של חילופי הגזים עבור העץ השלם (Maseyk et al., 2008). הכפלת הערך הממוצע החודשי של העץ הבודד במספר העצים שנותרו בחלקה אפשרה לעריך את השטפים (קיבוע פחמן דו-חמצני, דיות) עבור החלקה כולה. מאזן המים של בית הגידול באזורים לחים כולל בדרך כלל מרכיב של נגר, חלחול לעומק ומי תהום, אך ביער יתיר היבש הוא פשוט יותר. עשור וחצי של מחקר ביער יתיר כבר הראה כי החלחול זניח, מי התהום נמצאים הרחק בעומק, ובתוך היער כמעט ולא נוצר נגר. כך שבפועל, מי הגשם נאגרים ברובם בשכבות הקרקע העליונות, נצרכים על ידי העצים, ונפלטים בשטף הדיות או מתאדים ישירות מפני הקרקע.

תוצאות המחקר שסיכמו את שלוש השנים הראשונות לאחר דילול העצים הראו שכצפוי, רמות הקרינה שמתחת לחופה היו גבוהות יותר משמעותית בהשוואה לחלקות הצפופות יותר, ובעקבות זאת נרשמה עלייה משמעותית בקצב קיבוע הפחמן ברמת העץ הבודד. לעומת זאת, באופן מפתיע, קצב הדיות של העץ הבודד בחלקות המדוללות לא היה גבוה משמעותית מקצב הדיות של העצים שבחלקות

של הצומח המעוצה (בעיקר מינים מקומיים) ומידת כיסוי השטח על ידו כדי לבדוק כיצד מושפע תת-היער מטיפולי הדילול והגידור. האורך, הרוחב והגובה נמדדים עבור כל שיח שנמצא בתחום החתך (ללא תלות במין הצמח).

התחדשות ושרידות של נבטי אורן – עד שנת 2014 נספרו ותועדו הנבטים פעם בשנה לאורך החתכים (2 מטר מכל צד), וערך זה נחשב כמייצג לכל החלקה. עם הזמן התברר כי פיזור הנבטים אינו אחיד בכל שטח החלקות, ולכן דגימה לאורך חתכי המדידה הקבועים אינה בהכרח מייצגת. החל משנת 2015 נספרו הנבטים בכל שטח החלקה פעמיים בשנה, באפריל בתום עונת הגשמים (נביטה) ובספטמבר בתום הקיץ (שרידות).

אורך המחטים – אנו מניחים שקישור קשר בין אורך המחטים לתנאי האקלים ולטיפולים, ולכן האורך הוא מדד לחיוניות ולמצב של העצים. המחטים נאספות מענפים בגובה 6 מטר משבעה עצים שעליהם מורכבים הדנדרומטרים בכל חלקה, משני מפנים (מזרח ומערב).

קצב זרימת המים בגזע – נמדד מאז שנת 2017. כדי לצמצם נזק לציוד מדידה יקר הותקנו והוסרו בכל עונה מחדש התקני הכנה לחישה בארבעה עצים בכל אחת מארבע החלקות (10, 20, 30 עצים לדונם וביקורת). החישה עצמם הותקנו זמנית על גבי הגזעים לתקופות של שלושה ימים בקמפיינים מאורגנים אחת לעונה.

תכולת המים ופוטנציאל המים בקרקע – נמדדים מאז שנת 2017 בעזרת חיישנים למדידת תכולת הרטיבות בקרקע ולמדידת פוטנציאל מים של הקרקע. החיישנים הוטמנו בקרקע בארבע חלקות סמוכות (10, 20, 30 עצים לדונם וביקורת) בעומק של 20 ס"מ בשתי נקודות: סמוך לאחד הגזעים, ובמרחק מרבי מגזעי העצים. המדידה מתבצעת באופן רציף, והנתונים נאגרים באוגר נתונים מוזן סוללות (איור 4).

צימוח שורשים עדינים – נבדק מאז שנת 2017. גילי רשת (חורים בקוטר 2 מ"מ) המכילים קרקע מהאתר שסוננה משורשים, נטמנים למשך שנתיים בקרקע בעומק של 25 ס"מ. השורשים מופרדים מהקרקע, ונסרקים לקבלת אומדן של צימוח השורשים החדשים בכל חלקה. נוסף על כך, בשנת 2019 תועד צימוח שורשים עדינים בצילומים במצלמת שורשים ייעודית מדי חודש במהלך 12 חודשים רצופים (איור 4).

ממצאים עיקריים: השפעת צפיפות העומד על תפקודי הפחמן והמים של העצים

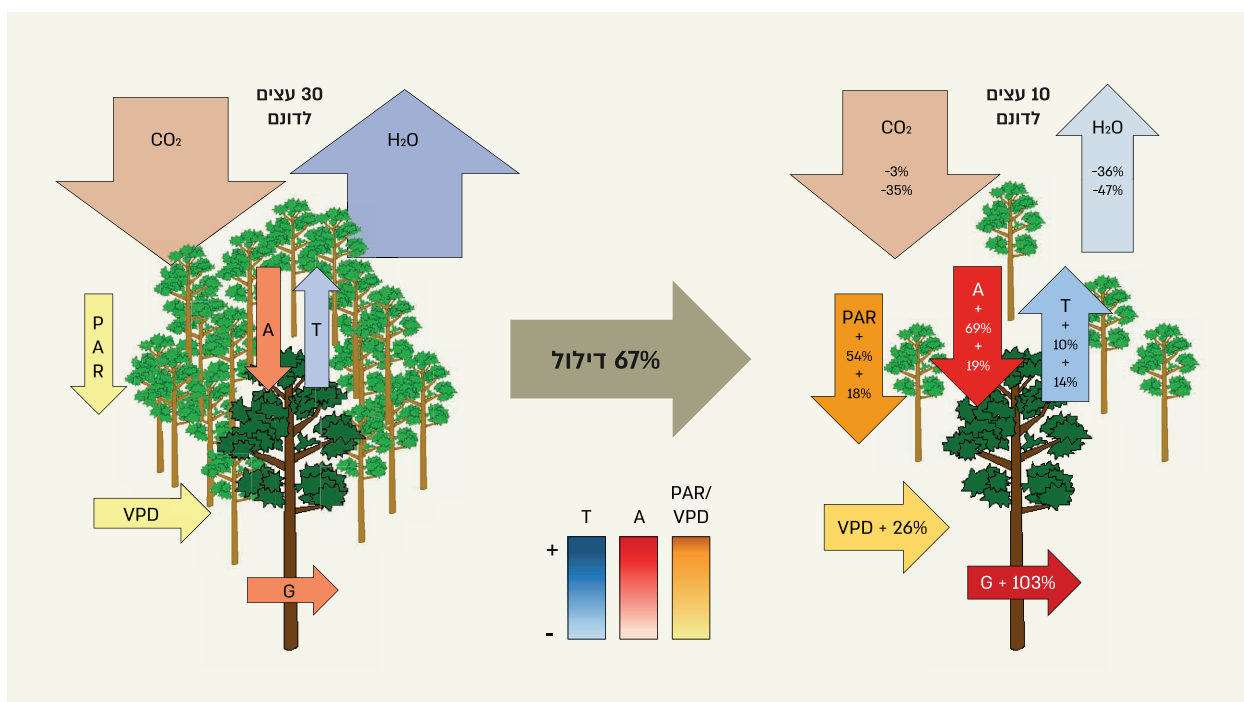
השנים הראשונות לאחר הדילול היו באופן טבעי שנות הסתגלות, ונצפתה בהן שונות גבוהה משנה לשנה גם ללא תלות בנתונים המטאורולוגיים והסביבתיים. במחקרים

תפקוד העצים בטיפולו הדילול הגיעו לשיאם בתקופה של סוף החורף והאביב (מרץ-מאי), והצטמצמו עם העלייה בטמפרטורות והירידה בלחות האוויר, עד שבתקופת הקיץ כמעט ולא נמדדו הבדלים, משום שבתקופת הקיץ פיוניות העלים פתוחות באופן מינימלי המאפשר הישרדות בלבד במטרה להגן על העץ מפני התייבשות. איור 5 מציג את מאזן השטפים שנמדדו וחושבו בחלקות הצפופות (30 עצים לדונם) בהשוואה למאזן השטפים בחלקות המדוללות (10 עצים לדונם).

ממצאים עיקריים: השפעת הרעייה והדילול על התחדשות יער אורנים באזור צחיח למחצה

לאחרונה פורסם מחקר שתרגומו פורסם גם בכתב עת זה (פוזנר ושות', גיליון 22, 2022; Pozner et al., 2022), שעקב אחר יכולת ההתחדשות של יער יתיר. במחקר נמצא שאף על פי שבתקופת האביב מספר הזריעים שנובטים גבוה מאוד ויכול להגיע למאות רבות לדונם, יכולתם לשרוד

הצפופות. שינויים אלה במאזן המים של העץ התבטאו בכך שיעילות ניצול המים של העצים (WUE) בחלקות הדלילות (10 עצים לדונם) הייתה גבוהה משמעותית ביחס לזו של העצים בחלקות הצפופות. כיצד ניתן להסביר זאת? ביער יתיר מרבית קיבוע הפחמן מתבצע בסוף החורף ובאביב (מרץ-מאי) כאשר זמינות המים בקרקע גבוהה ואינה גורם מגביל בעקבות תחרות בין העצים על משאב המים (Klein et al., 2014). היות שגם ה-VPD נמוך יחסית בעונה זו, מוליכות הפיוניות של העצים בכל החלקות נוטה להיות דומה. את העלייה ביעילות העצים בחלקות הדלילות ניתן לייחס כנראה למספר הגבוה יותר של מחטים חדשות שנצפו גדלות על העצים בחלקות המדוללות, שגם היו ארוכות יותר מאשר בחלקות הצפופות (כנראה בשל העלייה בזמינות הקרינה). כמו כן, היעילות הפוטוסינתטית ויעילות ניצול המים של מחטים צעירות גבוהות משמעותית משל מחטים ותיקות (Porté and Loustau, 1998). ניתוח הממצאים הראה גם שההבדלים הפיזיולוגיים ברמת תפקוד העץ הבודד (דיות, קיבוע פחמן) לאחר דילול החלקה אינם נשמרים לכל אורך השנה, ונמצא שהם תלויים בעונות השנה. ההבדלים בין



איור 5

סיכום סכמטי של ההבדלים בין חלקות הניסוי, שנמדדו או חושבו תאורטית ושנבעו מטיפולו הדילול

הנתונים מתארים את ההשפעה על עצים גדולים ועל שטפי מים, פחמן ואנרגיה. כיוון החץ מציין את כיוון השטף; גודל החץ ועוצמת הצבע מציינים את הגודל והעוצמה של השטף. הערכים העליונים נמדדו ברמת העלה וחושבו עבור כלל החלקה; הערכים התחתונים חושבו תאורטית על ידי המודל ההידרולוגי RHESSys. הירידה בצפיפות העומד הגדילה את הקרינה הפוטוסינתטית הפעילה (PAR) מתחת לחופה, ובמידה נמוכה יותר את גירעון לחץ האדים (VPD). בעקבות זאת, הטמעת פחמן (A) וצמיחה (G) ברמת העץ הבודד גדלו במידה ניכרת, בעוד הדיות (T) גדלו באופן מתון. העלייה במדדים הפיזיולוגיים והאקו-פיזיולוגיים ברמת העץ הבודד פיצתה על הירידה במספר העצים לשתח עקב הדילול, ונרשמה הפחתה בצריכת המים הכללית ברמת החלקה.

תקופות היובש, וכן משפרת את סיכויי לשרוד. ניתן גם לראות ששיעור כיסוי העלווה הולך וגדל בחלקות המדוללות בשל גדילת נוף העצים שנותרו. העלווה מספקת צל עבור שוכני היער והמבקרים בו, אך בו-בזמן גם מותירה אזורים גדולים יותר מבעבר של שטחים החשופים לקרינה ישירה שמאפשרת התפתחות מחודשת של מינים מקומיים. הצמחייה שהולכת ומתבססת עם השנים באזורים שאינם מוצלים מורכבת משילוב של כיסוי עשבוני צפוף לאחר הגשמים עם שיחים מעוצים קטנים, כגון סירה קוצנית וקיפודן בלנש, המגדילים את המגוון הביולוגי של היער, ומספקים מקור מזון גדול יותר עבור עדרי הכבשים והעיזים ועבור חיות הבר המקומיות.

סיכום

ניטור ארוך טווח של יער יתיר הוא בעל חשיבות ברמה עולמית, וזאת בשל מיקומו הייחודי על סף המדבר בקצה תפוצתו הדרומי של היער. תוצאות המחקר הן בראש ובראשונה כלי חשוב להסקת מסקנות ותובנות לניהול יער בר-קיימא במדינת ישראל, אך לא פחות חשוב מכך, יער זה הוא מעין "מנהרת זמן" עבור יערות מחטניים באזורים אחרים בעולם שהולכים ומתייבשים. גם אם כיום הם עדיין אינם סובלים מתקופות יובש ממושכות כבצפון הנגב, התחזיות לשינוי האקלים באזורים רבים בעולם צופות שיערות רבים באירופה ובאמריקה ילכו ויתייבשו. מציאת "הנוסחה" לניהול מיטבי של היער בסוג אקלים זה תוכל לאפשר למקבלי החלטות בעולם כולו להתכונן טוב יותר לתנאי העתיד.

בקיץ החם והיבש באזור זה שעל סף המדבר מצומצמת ביותר, ולחץ הרעייה באזור הצחיח מקטין עוד יותר את סיכויי השרידות. נוסף על כך, מעט הזרעים שמצליחים לשרוד בקיץ ולהתקיים עד לעונת הגשמים הבאה, לרוב אינם מצליחים להתפתח כראוי ונשארים קטנים ומנוונים. צמצום מספר העצים בחלקה, שמקטין את התחרות על משאבי המים והאור, לא יצר יתרון להתבססות של עצי אורן חדשים. מחקר זה אישר ואף הרחיב את ממצאיו של יבלוביץ' (2008) מניסוי בהיקף קטן יותר.

בימים אלה, כאשר קיימים נתונים שנאספו מחלקות הניסוי במשך יותר מעשור בתקופה של שינוי האקלים, ניתן להתחיל ולקבל תמונה ברורה יותר באשר לגורלו של היער בראי הזמן בכלל, ואם ניתן לשפר את מצב העצים באמצעות ממשקי ניהול שונים. כעת מנתחים את הנתונים הללו במטרה ללמוד מה הן ההשפעות ארוכות הטווח של טיפולי הדילול ומניעת הרעייה, וכיצד יער בצפיפויות עומד שונות מתמודד עם סביבה כה מאתגרת. בקרוב יתפרסם מחקר נוסף הבוחן את ההשפעה של כמות המשקעים ותקופות של שרב מתמשך על תפקוד העצים בצפיפויות עומד שונות תוך שקלול פרמטרים רבים שנוטרו ברציפות או בנקודות זמן ספציפיות, לרבות זרימת מים בגזע, צימוח שורשים חדשים, ניתוח טבעות הגזע ו-LAI (איור 4). מניתוח התוצאות שהתבצע עד כה ניתן לראות בבירור שדילול החלקות מיטיב עם העצים שנותרו, בשל הפחתת התחרות על משאבי המים היקר כל כך באזור גאוגרפי זה. זמינות המים הגדולה יותר עבור כל אחד מן העצים משפרת את מצב העץ הבודד, ומאפשרת לו להתמודד טוב יותר עם

מקורות

- Bréda NJJ. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, 54(392), 2403–2417.
- Calev A, Zoref C, Tzukerman M, Moshe Y, Zangy E, and Osem Y. 2016. High-intensity thinning treatments in mature *Pinus halepensis* plantations experiencing prolonged drought. *European Journal of Forest Research*, 135(3), 551–563.
- Del Campo A, Fernandes TJG, and Molina AJ. 2014. Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semiarid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management? *European Journal of Forest Research*, 133(5), 879–894.
- Grünzweig JM, Gelfand I, Fried Y, and Yakir D. 2007. Biogeochemical factors contributing to enhanced carbon storage following afforestation of a semi-arid shrubland. *Biogeosciences*, 4(5), 891–904.
- השירות המטאורולוגי הישראלי. נתונים היסטוריים של משקעים לאורך השנים, <https://ims.gov.il/he/data.gov>. 2022–1960
- ויזל י (עורך). 1984. **הצומח של ארץ ישראל**. בתוך: אלון ע (עורך). האנציקלופדיה החי והצומח של ארץ ישראל, כרך 8. הוצאת משרד הביטחון והחברה להגנת הטבע. תל אביב.
- יבלוביץ' ח. 2008. התחדשות טבעית של יערות אורן ירושלים באזורים צחיחים למחצה (עבודת גמר לתואר שני). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- פוזנר א, בר און פ, ליבנה-לוזון ס, מורן א, צמיר-רימון מ, דנר א ושות'. 2022. יובש מגביל את ההתחדשות ביער יתיר: הסכנה ליער מתעצמת בשל שינוי האקלים. *יער*, 22, 49–59.
- סולר ש, רון מ, פרלמן י ורומן א. 2006. **חבל יתיר, סקר טבע ונוף**. מכון דשא, תל אביב.

- Preisler Y, Tatarinov F, Grünzweig JM, and Yakir D. 2021. Seeking the 'point of no return' in the sequence of events leading to mortality of mature trees. *Plant, Cell and Environment*, 44(5), 1315–1328.
- Qubaja R, Amer M, Tatarinov F, Rotenberg E, Preisler Y, Sprintsin M, and Yakir D. 2020. Partitioning evapotranspiration and its long-term evolution in a dry pine forest using measurement-based estimates of soil evaporation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 281 (February), 107831.
- Ruano I, Rodriguez-Garcia E, and Bravo F. 2013. Effects of pre-commercial thinning on growth and reproduction in post-fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill. *Annals of Forest Science*, 70(4), 357–366.
- Schiller G. 2010. The case of yatir forest. In: Bredemeier M, Cohen S, Godbold D, Lode E, Pichler V, and Schleppei P (Eds). *Forest Management and the Water Cycle*. Ecological Studies vol 212. Dordrecht: Springer. pp. 163–186.
- Schiller G and Atzmon N. 2009. Performance of Aeppo pine (*Pinus halepensis*) provenances grown at the edge of the Negev Desert: A review. *Journal of Arid Environments*, 73(12), 1051–1057.
- Sohn JA., Gebhardt T, Ammer C, Bauhus J, Heinz Häberle K, Matyssek R, and Grams TEE. 2013. Mitigation of drought by thinning: Short-term and long-term effects on growth and physiological performance of Norway spruce (*Picea abies*). *Forest Ecology and Management*, 308, 188–197.
- Tsamir M, Gottlieb S, Preisler Y, Rotenberg E, Tatarinov F, Yakir D, et al. 2019. Forest ecology and management stand density effects on carbon and water fluxes in a semi-arid forest, from leaf to stand-scale. *Forest Ecology and Management*, 453 (June), 117573.
- Vogel JC, Fuls A, and Danin A. 1986. Geographical and environmental distribution of C3 and C4 grasses in the Sinai, Negev, and Judean deserts. *Oecologia*, 70(2), 258–265.
- Grünzweig JM, Lin T, Rotenberg E, Schwartz A, and Yakir D. 2003. Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology*, 9(5), 791–799.
- Klein T, Rotenberg E, Cohen-Hilaleh E, Raz-Yaseef N, Fyodor Tatarinov F, Preisler Y, et al. 2014. Quantifying transpirable soil water and its relations to tree water use dynamics in a water-limited pine forest. *Ecohydrology*, 7(2), 409–419.
- Martin-Benito D, del Rio M, Heinrich I, Helle G, and Cañellas I. 2010. Response of climate-growth relationships and water use efficiency to thinning in a *Pinus nigra* afforestation. *Forest Ecology and Management*, 259(5), 967–975.
- Maseyk KS, Lin T, Rotenberg E, Grünzweig JM, Schwartz A, and Yakir D. 2008. Physiology-phenology interactions in a productive semi-arid pine forest. *New Phytologist*, 178(3), 603–616.
- Moreno G and Cubera E. 2008. Impact of stand density on water status and leaf gas exchange in *Quercus ilex*. *Forest Ecology and Management*, 254(1), 74–84.
- Moreno-Gutiérrez C, Barberá GG, Nicolás E, de Luis M, Castillo VM, Martínez-Fernández F, and Querejeta JI. 2011. Leaf $\delta^{18}O$ of remaining trees is affected by thinning intensity in a semi-arid pine forest. *Plant, Cell and Environment*, 34(6), 1009–1019.
- Navarro-Cerrillo RM, Sánchez-Salguero R, Herrera R, Ceacero Ruiz CJ, Moreno-Rojas JM, Manzanedo RD and López-Quintanilla J. 2016. Contrasting growth and water use efficiency after thinning in mixed *Abies pinsapo-Pinus pinaster-Pinus sylvestris* forests. *Journal of Forest Science*, 62(2), 53–64.
- Porté A and Loustau D. 1998. Variability of the photosynthetic characteristics of mature needles within the crown of a 25-year-old *Pinus pinaster*. *Tree Physiology*, 18(4), 223–232.
- Pozner E, Bar-on P, Livne-luzon S, Moran U, Tsamir-Rimon M, Dener E, Schwartz E, et al. 2022. Forest ecology and management a hidden mechanism of forest loss under climate change, the role of drought in eliminating forest regeneration at the edge of its distribution. *Forest Ecology and Management*, 506 (December 2021), 119966.



פריחת כלניות בחלקה מדוללת ביער יתיר. דילול החלקה מאפשר התחדשות של תת-היער על ידי מיני בר מקומיים צילום: אלה פוזנר



יער הקדושים – אתר למחקר אקולוגי ארוך טווח ביער נטע-אדם מחטני: ממשק עומדים בוגרים לעיצוב יער העתיד

יגיל אסם*¹ | אלה זנגי^{2,1} | מור אשכנזי^{3,2,1} | אילון כלב^{3,2,1} | אורי מאירוביץ^{2,1}
רוני טל^{3,2,1} | מאיה מילאת^{3,2,1} | יוסי משה¹ | חוסיין מוקלדה¹ | משה צוקרמן³
ג'מאל דוויאת³ | ז'זזה גרינצוויג² | חנוך צורף³

- 1 המחלקה למשאבי טבע, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
 - 2 הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים
 - 3 אגף הייעור, קק"ל
- * yagil@volcani.agri.gov.il

תקציר

קטנים. עם זאת, קצב הצמיחה של אלונים מבוססים גבר, עד פי שלושה. הדילול השפיע על הרכב מיני הצמחים בתת-היער וגרם לעלייה ניכרת בעושר המינים (פי 1.6). טיפולי הדילול גרמו לירידה של עד כ-13% ביצרנות של חופת היער שנמדדה בגרם חומר יבש למ"ר, ולעומתה לעלייה הדרגתית ביצרנות תת-היער, עד כדי פי שמונה. עם זאת, עד כה מדד שטח העלים והיצרנות הכוללים של חופת היער ותת-היער טרם השיגו במלואם את הערכים שהתקיימו טרם הדילול. תוצאות המחקר ממחישות את האפקטיביות ארוכת הטווח של טיפולי דילול בעיצוב מבנה היער, בוויסות הדינמיקה והתפקודים של המערכת האקולוגית ובשיפור החוסן בפני יובש גובר עקב שינוי האקלים.

האתר למחקר אקולוגי ארוך טווח ביער הקדושים הוקם בשנת 2009 כדי לבחון שאלות מרכזיות הנוגעות לניהול היערות המחטניים הבוגרים בישראל ולעיצובם כיערות חיוניים, מגוונים וחסונים. המחקר נערך ביער אורן ירושלים בוגר בהרי יהודה, ונבחנו בו השפעות ארוכות טווח של טיפולי דילול שונים על חיוניות עצי היער, ההתחדשות הטבעית בו, המגוון הביולוגי ותפקוד המערכת האקולוגית. בחלוף 12 שנה ממצאי המחקר מראים שדילול היער גרם לשיפור ניכר ביצרנות של עצי האורן שנתרו לאחר הדילול, של עד פי ארבעה, ולירידה ניכרת בשיעור התמותה שלהם, עד פי עשרה. עם זאת, תגובת העצים מבחינת ממדי החופה הייתה מוגבלת, ו"מדד שטח העלים", כלומר שטח עלים ליחידת שטח קרקע, של חופת היער הראה תנודות בין-שנתיות, אך לא הציג מגמה כלשהי לאורך השנים. בעקבות הדילול נרשמה גדילה ניכרת בגיוס פרטים חדשים – עד פי חמישה – ובצמיחה של זריעי אורן ירושלים בתת-היער – עד פי שניים. לעומת זאת, הגיוס של זריעי אלון מצוי דווקא פחת עקב הדילול, ואף נרשמה תמותה מסוימת של פרטים

מילות מפתח

אורן ירושלים, טיפולי דילול, מדד שטח העלים

מבוא

(al., 2002; Lagergren et al., 2008).

הנחות המחקר התבססו על מודל קונספטואלי שנשען על "תאוריית שיווי המשקל האקו-הידרולוגי" (Eagleson, 1982) הקושרת בין "מדד שטח העלים" של הצמחייה בכללותה בשטח נתון (שטח עלים במ"ר ליחידת שטח קרקע במ"ר, להלן $LAI_{ecosystem}$), לבין זמינות המים בבית הגידול. על פי גישה זו:

א. בסביבה מוגבלת מים הערך המרבי של $LAI_{ecosystem}$ שהצמחייה יכולה להגיע אליו (להלן, LAI_{max}) מוכתב על ידי זמינות המים בבית הגידול. לפיכך, יער שהתפתח ללא הפרעה והגיע לשיאו, נמצא במצב של "שיווי משקל אקו-הידרולוגי" כלומר, ה- $LAI_{ecosystem}$ שלו שווה ל- LAI_{max} ומשקף את זמינות המים ("מרחב המחיה") בבית הגידול (Long et al., 2004; Osem and O'Hara, 2016).

ב. ככל שה- $LAI_{ecosystem}$ הקיים בפועל נמוך יותר מ- LAI_{max} , מרחב המחיה הפנוי להתפתחות נוספת של הצמחייה רב יותר. לפיכך, ביער שעבר דילול שבעקבותיו נוצרה הפחתה של ה- $LAI_{ecosystem}$, יש מרחב מחיה פנוי להיווצרות שטח עלים חדש ולשחזור הדרגתי של יצרנות המערכת. ההפרש בין $LAI_{ecosystem}$, לאחר הדילול, לבין LAI_{max} , הנובע מעוצמת הדילול, משקף את גודל מרחב המחיה הפנוי (Long et al., 2004; Osem and O'Hara, 2016).

על פי הנחות אלה שיערנו כי ככל שדילול היער יהיה חזק יותר, כך יתפנה מרחב מחיה רב יותר עבור עצי היער הבוגרים, שנותרו לאחר הדילול, ועבור התחדשות עצים (מחטניים ורחבי עלים) והתפתחות צמחייה שיחית ועשבונית בתת-היער. לתהליכים אלה קשר הדוק לארבעת יעדי הממשק שהוגדרו, אולם המידה והאופן שכל אחד מהמרכיבים הללו יושפע מדילול בעוצמות שונות, נותרו כשאלות פתוחות.

שיטות

אתר המחקר

המחקר התבצע ביער אורן ירושלים שניטע בשנת 1968 (בן 41 בתחילת המחקר). שטח האתר כ-300 דונם, והוא ממוקם בשיפולים המערביים של הרי יהודה ברום של 390–510 מטר מעל פני הים. המפנה הטופוגרפי מערבי ברובו ובשיפוע ממוצע של 25%. האקלים הוא ים תיכוני טיפוסי, כ-550 מ"מ גשם בשנה בממוצע, וטמפרטורה ממוצעת של 20°C. המסלע הוא דולומיט מתצורת בינה על גבי גיר קשה מתצורת ורדים. הקרקע רדודה, בעיקר מסוג טרה רוסה אדומה שטופה. הצמחייה הטבעית באזור היא שיחיה ים תיכונית, הנשלטת על ידי סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*), אלת המסטיק (*Pistacia lentiscus*) ואשחר ארץ-ישראלי (*Rhamnus licioides*) בליווי פרטים פזורים

בתחילת המאה ה-21 החלה לחלחל בקרב מנהלי היער בישראל ההבנה שהדור הראשון של היערות המחטניים שניטעו עם קום המדינה, קרב אל סיום חייו, ויש צורך להתחיל בתכנון וביבוש של האסטרטגיה לחידוש היערות הללו (Osem et al., 2008). במסגרת הדיון בסוגיה זו התעוררו מספר שאלות בסיסיות:

- מהי תוחלת החיים של דור היערות נוכחי?
- מהי דמותם הרצויה של יערות העתיד?
- כיצד ראוי לחדש את היערות?

באשר לדמותם של יערות העתיד הוסכם על השאיפה הבאה: "לבסס יערות בריאים וחיוניים המותאמים לתנאי בית הגידול בו הם מצויים, עמידים בכני פגעים ומכגעים, מתקיימים ומתחדשים באופן עצמי, תומכים במגוון ביולוגי רחב ומספקים מגוון תועלות לאדם מבלי לגרום נזק למערכות אקולוגיות שכנות" (אסם ושות', 2014). על בסיס זה נגזרו עבור היערות המחטניים הבוגרים ארבעה יעדי ממשק עיקריים (אסם ושות', 2014; Osem et al., 2008; 2009):

- טיפוח החיוניות ואריכות הימים של דור היער הנוכחי.
- ביסוס הדרגתי של דור היערות הבא על בסיס תהליכי התחדשות טבעית, ככל האפשר.
- הגדלת המורכבות המבנית והמגוון הביולוגי של היער.
- טיפוח החוסן ותפקודי המערכת של היער.

היות שחסר בארץ ניסיון קודם בהתמודדות עם אתגרי הממשק הללו, הוחלט על הקמת "אתר מחקר אקולוגי ארוך טווח" (LTER) ביער מחטני בוגר הגדל בתנאי אקלים ומסלע טיפוסיים לאזור הים התיכוני בישראל. לצורך זה נבחר יער הקדושים, יער אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill.) שניטע בסוף שנות ה-60 בהרי יהודה, וכיום הוא כבן 50 שנה.

מבין פעולות הממשק הנהוגות ביערות המחטניים בארץ, דילול היער (סילוק סלקטיבי של עצים להפחתת צפיפות העומד) נחשב כטיפול היערי המשמעותי והחשוב ביותר, ונשאלה השאלה: האם ובאיזו מידה ראוי לדלל את היערות המחטניים המבוגרים כדי לקדם את ארבעת יעדי הממשק שפורטו לעיל? יש לציין כי משטר הדילולים המקובל ביערות אורן ירושלים בארץ נועד להתבצע עד גיל 30, מה שמאפשר לעצים להגיב לדילול על ידי צימוח נמרץ של הנוף והגזע (רוח ושות', 1990; אסם וצורף 2020). בגיל מאוחר יותר הולכת ופוחתת יכולת העצים להגיב לדילול, ויעילותו עבורם מוטלת בספק. יתרה מכך, ביערות מבוגרים שגדלו בצפיפות רבה (כמו יער הקדושים), העצים עלולים להגיב באופן שלילי לדילול (עקת דילול), ובעיקר לדילול חזק (DeBell et

של אלון מצוי (*Quercus calliprinos*) (Zangy et al., 2021).

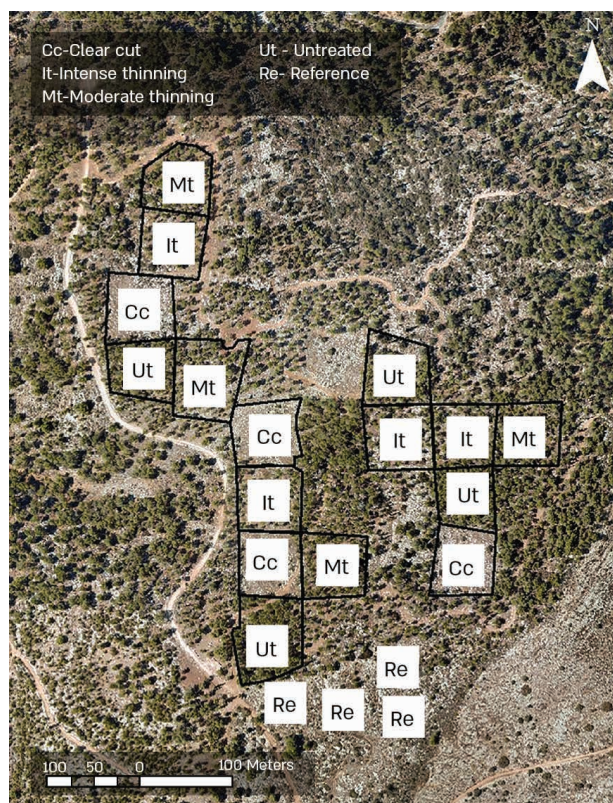
מבנה הניסוי

בשטח המחקר סומנו 16 חלקות בגודל 70x70 מטר של יער אורן ירושלים בצפיפות אחידה (כ-55 עצים לדונם). החלקות חולקו באופן אקראי לארבעה טיפולי דילול (ארבע חזרות לכל טיפול): א. כריתה מלאה (סילוק 100% מה-LAI של חופת היער, להלן $LAI_{overstory}$); ב. דילול חזק (10 עצים לדונם, סילוק 60% מה- $LAI_{overstory}$); ג. דילול מתון (30 עצים לדונם, סילוק 30% מה- $LAI_{overstory}$); ד. ביקורת ללא דילול (כ-55 עצים לדונם, $LAI_{overstory} \approx 2$) (Calev et al., 2016). למניעת השפעות שוליים סומן במרכז כל חלקה שטח של 40x40 מטר שבתוכו מתבצעות כל המדידות (להלן, שטח הניסוי). טיפולי הדילול בוצעו במהלך קיץ-סתיו 2009. כמו כן, סמוך לשטח היער שטופל נבחר שטח בלתי מיוער כמערכת ייחוס. בשטח זה סומנו ארבע חלקות ניטור נפרדות בגודל 40x40 מטר (איור 1).

מדדים ושיטות מדידה

במאמר זה נתייחס למספר מדדים המייצגים את היבטי המחקר השונים.

1. LAI של עצי חופת היער ($LAI_{overstory}$) ושל צמחיית תת-היער ($LAI_{understory}$) – משקף את שטח העלים ליחידת שטח קרקע של עצי היער הבוגרים (הנטועים) היוצרים את חופת היער בכל חלקה. $LAI_{overstory}$ נמדד מדי שנה בעונת האביב (יוני) באמצעות מכשיר אופטי ייעודי מסוג SunScan[®] (מאירוביץ, 2018; Webb et al., 2008). כמו כן, לאורך השנים נמדד גם ה-LAI של תת-היער ($LAI_{understory}$), והסכום של $LAI_{overstory}$ ו- $LAI_{understory}$ שווה ל- $LAI_{ecosystem}$. לפירוט אופן המדידה של המשתנים הללו ראו מאירוביץ (2018).
2. יצרנות לעץ בודד – מדד זה משקף את חיוניות העצים הנטועים הבוגרים (דור היער הנוכחי). ב-5-15 עצי מדגם בכל חלקה, מלבד החלקות שעברו כריתה מלאה (חמישה עצים בחלקות דילול חזק, עשרה בחלקות דילול מתון ו-15 בחלקות ביקורת), נמדדה מדי שנה העלייה בקוטר הגזע ביחס לקוטרו בשנה הקודמת. המדידה נעשתה באמצעות דנדרומטרים (מדי היקף גזע) קבועים (Calev et al., 2016). העלייה בביימסה היבשה של העץ בכללותו חושבה באמצעות נוסחאות אלומטריות מתאימות (זנגי, 2019).
3. שיעור תמותת עצים – מדד זה משקף את אורך החיים וחיוניות העצים הנטועים הבוגרים. בכל חלקה חושב היחס בין מספר העצים המתים לבין מספר העצים החיים בתחילת הניסוי. מדד זה נאסף מדי שנה בחודשי הסתיו בסקר קרקעי (כלב, 2013).
4. גיוס אורנים בתת-היער – מדד זה משקף את ההתחדשות הטבעית של היער המחטני. זריעי אורן ירושלים (בני שנה לפחות) נספרו בעונת הסתיו בערך כל שלוש שנים בשלוש רצועות דגימה (40x4 מטר) בכל חלקה (זנגי, 2019).
5. צמיחת זריעי אורנים – מדד זה משקף את ההתפתחות של היער המחטני המתחדש. הגובה של זריעי אורן ירושלים נמדד בערך כל שלוש שנים, והגידול היחסי שלהם חושב (העלייה בגובה ביחס לגובה הקודם) (זנגי, 2019).
6. גיוס והתפתחות זריעי אלון מצוי – מדדים אלה משקפים את ההתחדשות הטבעית של עצי חורש, והם נמדדו באופן זהה לזריעי אורנים (זנגי, 2019).
7. עושר מיני צמחים בתת-היער – מדד זה משקף את המגוון הביולוגי ביער. בערך כל שלוש שנים נערכו בכל החלקות סקרי צומח, ובמהלכם זוהו ונספרו כל מיני הצמחים בארבעה ריבועי דגימה בשטח 100 מ"ר כל אחד (Zangy, 2021).
8. יצרנות – מדד זה משקף את תפקוד המערכת האקולוגית.



איור 1

צילום אוויר של מערך הניסוי ביער הקדושים, אוגוסט 2010

הקווים השחורים מסמנים את גבולות חלקות הניסוי (70x70 מטר). הקווים הלבנים מסמנים את גבולות שטח הניטור בכל חלקה (40x40 מטר). טיפולי הדילול בוצעו בארבע חזרות: כריתה מלאה (Cc), 0 עצים לדונם, דילול חזק (It), 10 עצים לדונם, דילול מתון (Mt), 30 עצים לדונם, ביקורת ללא דילול (Ut), כ-55 עצים לדונם) וחלקות ייחוס ללא עצים נטועים (Re).

הדלילות ביותר ($LAI_{overstory} < 1$) לכ-3 ק"ג בשנה בחלקות הצפופות ביותר ($LAI_{overstory} > 2$).

שיעור התמותה בעצי האורן הבוגרים

נמצא קשר חיובי בעל אופי מעריכי ($R^2=0.73$, $N=12$), $LAI_{overstory}$ לבין שיעור התמותה המצטבר, והוא עלה מערך זניח של כ-2% בחלקות הדלילות ביותר עד מעל ל-25% בחלקות הצפופות ביותר (איור 3).

התחדשות טבעית של עצים

בטרם הדילול הגיע מספר זריעי האורנים בחלקות המחקר לכל היותר למספר פרטים בודדים, ומספר זריעי האלונים עמד על כ-40 זריעים לדונם, רובם בגובה 25–100 ס"מ. עשר שנים לאחר הדילול נמצא קשר שלילי בין $LAI_{overstory}$ לבין גיוס אורנים חדשים בתת-היער ($R^2=0.34$, $N=16$), $P < 0.018$, שפחת מכ-25 זריעים לדונם בחלקות הכריתה המלאה ($LAI_{overstory}=0$) לכחמישה זריעים לדונם בחלקות הצפופות ביותר. כמו כן, נמצא קשר שלילי בין ה- $LAI_{overstory}$ לבין קצב הצמיחה של זריעי האורנים ($R^2=0.79$, $N=16$), והוא פחת מכ-32% בשנה בחלקות הדלילות לכ-18% בשנה בחלקות הצפופות ביותר. שלא כמו האורנים, אצל האלונים נמצא דווקא קשר חיובי בין ה- $LAI_{overstory}$ של החופה לבין גיוס זריעים חדשים לאחר הדילול ($R^2=0.37$), והוא עלה מערך של מינוס שני פרטים (תמותה) לדונם בעשר שנים בחלקות הכריתה המלאה, לפרט אחד לדונם (גיוס) בממוצע בחלקות הצפופות ביותר. לעומת זאת, נמצא קשר שלילי בין $LAI_{overstory}$ לבין קצב הצימוח של זריעי האלונים ($R^2=0.59$, $N=16$, $P < 0.005$), והוא פחת מכ-15% בשנה בחלקות הכריתה המלאה לכ-5% בחלקות הצפופות ביותר.

עושר הצומח

בחלקות המחקר נרשמו 316 מינים של צמחים עשבוניים ומעוצים. נמצא קשר לינארי שלילי בין $LAI_{overstory}$ לבין עושר המינים ($R^2=0.74$, $N=16$, $P < 0.0001$) שעמד על כ-70 מינים ל-100 מ"ר בחלקות הכריתה המלאה, ועל כ-45 מינים ל-100 מ"ר בחלקות הצפופות ביותר. לשם השוואה, בחלקות הייחוס שלא ניטעו, נמדד עושר מינים של כ-100 מינים ל-100 מ"ר. מדדים שונים של מגוון מינים (Sorenson index, Simpson index) הציגו מגמות זהות לאלה שהתקבלו עבור עושר המינים. על פי ניתוחי אורדינציה מסוג RDA, מבין מיני הצמחים שנרשמו בחלקות המחקר הציגו 105 מינים שעיקרם עשבוניים חד-שנתיים, נוכחות רבה יותר באופן מובהק ביער הפתוח, כלומר מספר הדגימות שבהן המין הופיע מתוך סך הדגימות היה גבוה. לעומת זאת, 23 מינים בעיקר שיחים ומטפסים, היו נוכחים יותר ביער הצפוף (איור 4). ראו לציין כי מיני הצמחים שנרשמו בחלקות היער הם

נמדדו הביומסה השנתית של הצמחייה העשבונית והתוספת השנתית של ביומסת הצמחייה המעוצה בתת-היער ובעצי היער הבוגרים. הביומסה העשבונית נמדדה ישירות על ידי איסוף דגימות, ייבוש ושקילה. נפח הצמחייה המעוצה בתת-היער חושב על פי נתוני הכיסוי והגובה של הצמחייה שהופקו מחתכי צומח (זנגי, 2019), והביומסה חושבה מנתוני הנפח באמצעות נוסחאות אלומטריות מותאמות (אשכנזי ושות', 2018). יצרנות העצים חושבה על ידי הכפלת היצרנות הממוצעת לעץ בודד (מדד 2 ברשימה זו) במספר העצים ליחידת שטח בכל חלקה (זנגי, 2019).

ניתוח הנתונים

הניתוחים נערכו ב-16 חלקות ניסוי (ארבעה טיפולים בארבע חזרות, ראו איור 1). בכל המדדים נערכו ניתוחי גרסיה לבחינת הקשר בין הממוצע או הסכום הרב-שנתי של המדד לבין מדד שטח העלים של חופת היער ($LAI_{overstory}$, מדד 1 ברשימה) המשקף באופן כמותי רציף את כיסוי חופת היער בהשפעת הדילול בכל חלקה. ערכנו ניתוחי אורדינציה מסוג RDA (redundancy analyses) למטרות ניתוח ההבדלים בהרכב המינים בהשפעת טיפולי הדילול. חלקות הייחוס שסומנו בשטח הבלתי מיוער שסומן ליער לא נכללו בניתוחים הסטטיסטיים ושימשו להשוואה בלבד, מכיוון שהן מהוות חזרות מדומות (pseudo-replications).

תוצאות

מדד שטח העלים של חופת היער

טיפולי הדילול הפחיתו את מדד שטח העלים של חופת היער ($LAI_{overstory}$) בהתאם לצפיפות העצים שנותרו לאחר הדילול ($R^2=0.85$, $N=12$, $P < 0.001$). במשך 12 שנים לאחר הדילול (2010–2022) ה- $LAI_{overstory}$ הציג תנודות בין-שנתיות, אולם לא נצפתה מגמה כלשהי באף אחד מהטיפולים. הממוצעים הרב-שנתיים של ה- $LAI_{overstory}$ נעו בטווחים של 0.68–1.01 (מ"ר שטח עלים למ"ר קרקע) בטיפולי הדילול החזק של עשרה עצים לדונם, 1.27–1.78 בטיפולי הדילול המתון של 30 עצים לדונם, ו-1.8–2.3 בטיפולי הביקורת ללא דילול. הניתוחים הבאים מציגים את הקשר בין ה- $LAI_{overstory}$ הממוצע (2010–2022) בכל חלקה לבין המדדים השונים של המחקר.

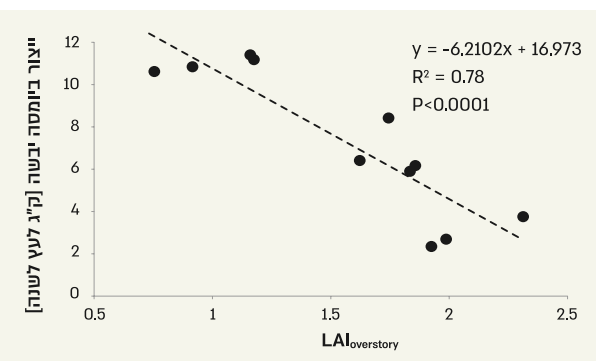
יצרנות עצי האורן הבוגרים

נמצא קשר לינארי שלילי מובהק ($R^2=0.78$, $N=12$, $P < 0.001$) בין $LAI_{overstory}$ לבין היצרנות של עצי האורן (איור 2). ייצור הביומסה היבשה לעץ נע בין כ-12 ק"ג בשנה בחלקות

מינים ים תיכוניים טיפוסיים לאזור הרי יהודה, ורובם ככולם נמצאו גם בחלקות הייחוס הבלתי מיוערות סמוך ליער.

יצרנות

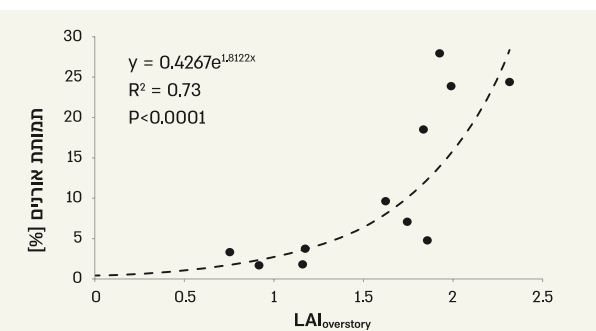
מהתבוננות בשלושת מרכיבי יצרנות היער – צמחייה עשבונית, צמחייה מעוצה בתת-היער ועצי חופת היער – על פני הטווח של $LAI_{overstory}$, עלו הדברים הבאים: יצרנות הצמחייה בתת-היער נתרמה בחציה מצמחייה עשבונית (בעיקר חד-שנתית) ובחציה מצמחייה מעוצה (מטפסים, שיחים וזרעי עצים). בחלקות הכריתה המלאה עמדה יצרנות תת-היער על כ-150 גרם חומר יבש למ"ר בשנה, והיא ירדה בצורה ליניארית ($R^2=0.70$, $N=16$, $P<0.0001$) עם העלייה ב- $LAI_{overstory}$ עד לכ-20 גרם חומר יבש למ"ר בשנה בחלקות הצפופות ביותר. לעומת זאת, יצרנות חופת היער עלתה עם העלייה ב- $LAI_{overstory}$ מאפס בחלקות הכריתה המלאה ($LAI_{overstory}=0$) עד לכ-210 גרם חומר יבש למ"ר בחלקות הצפופות ביותר ($LAI_{overstory}>2$). בחישוב היצרנות הכוללת של היער אפשר לראות עלייה מתמתנת ביצרנות עם העלייה ב- $LAI_{overstory}$ ($R^2=0.40$, $N=16$, $P<0.01$) מכ-150 גרם חומר יבש למ"ר בשנה בחלקות הכריתה המלאה, ועד כ-235 גרם חומר יבש למ"ר בשנה בחלקות הביקורת הצפופות. התרומה היחסית של תת-היער ליצרנות הכללית נעה בין 100% בחלקות הכריתה המלאה לכ-10% בחלקות הצפופות ביותר (איור 5).



איור 2

עלייה שנתית בביומסה היבשה לעץ כתלות במדד שטח העלים בחופת היער

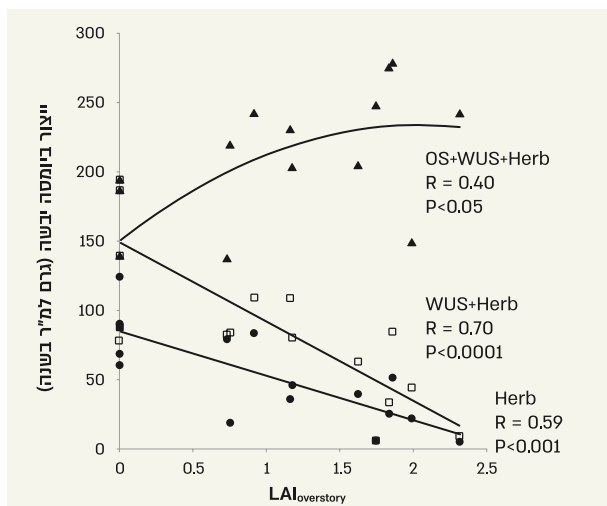
הנתונים משקפים ממוצע של עשר שנים (2010–2020). כל נקודה מייצגת חלקת ניסוי, שלושה טיפולי דילול (ללא טיפול הכריתה המלאה) בארבע חזרות.



איור 3

שיעור התמותה של עצי אורן בוגרים כתלות במדד שטח העלים בחופת היער

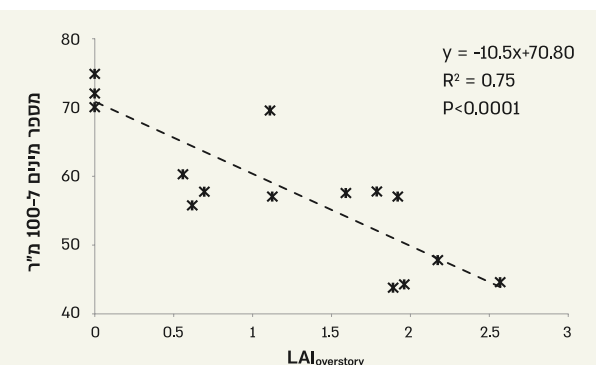
הנתונים משקפים תמותה מצטברת במשך עשר שנים (2010–2020). כל נקודה מייצגת חלקת ניסוי, שלושה טיפולי דילול (ללא טיפול הכריתה המלאה) בארבע חזרות.



איור 5

ייצור שנתי ממוצע של ביומסה יבשה כתלות במדד שטח העלים בחופת היער

הנתונים מתייחסים לצמחייה עשבונית (Herb), עיגולים, קו רגרסיה תחתון), לצמחייה מעוצה בתת-היער וצמחייה עשבונית (WUV+Herb), ריבועים, קו רגרסיה אמצעי) ולחופת היער, צמחייה מעוצה בתת-היער וצמחייה עשבונית (OS+WUV+Herb), משולשים, קו רגרסיה עליון). כל נקודה מייצגת חלקת ניסוי, ארבעה טיפולי דילול בארבע חזרות.



איור 4

עושר המינים של הצומח כתלות במדד שטח העלים בחופת היער

הנתונים מתייחסים לעושר המינים שנמדד בשנת 2014, חמש שנים לאחר הדילול. כל נקודה מייצגת חלקת ניסוי, ארבעה טיפולי דילול בארבע חזרות.

דין

ניכרת בעקבות הדילול (עד פי 1.8). את העלייה בקצב הגיוס והצימוח של האורנים ניתן לייחס בעיקר להיותו של האורן מין אוהב אור, שמתבסס וצומח טוב יותר בתנאי קרינה גבוהה. בעוד שמדי שנה ישנה נביטה רבה של אורנים ביער, היכולת של נבטי האורן לצמוח ולבסס שורש עמוק שיאפשר להם לצלוח את תקופת הקיץ היבשה תלויה באופן קריטי בזמינות אור (Osem et al., 2013).

שלא כמו אורן ירושלים, הגיוס של זריעי אלון מצוי דווקא נפגע מדילול היער, ולמעשה עבר ממצב של גיוס איטי למצב של גריעה, שניתן לייחס אותה לתמותה של אלונים קטנים שסבלו מתחרות קשה עם עשבים עקב פתיחת חופת היער (זנגי, 2019). לעומת זאת, קצב הצימוח של זריעי האלונים שכבר היו מבוססים בתת-היער (כ-40% זריעים לדונם), גבר עקב הדילול בצורה ניכרת (עד כדי פי שלושה). זוהי התנהגות אופיינית למיני יער "מאוחרים" (late successional species) המעדיפים להתבסס בתנאי צל ובשלבם מאוחרים יותר לצמוח בתנאי אור (Cooper et al., 2014). להבדלים בדפוסי ההתחדשות של אורן ירושלים לעומת אלון מצוי יש חשיבות מבחינת ניהול היער להכוונת ההתפתחות של יערות מעורבים (מחטניים ורחבי עלים) ועיצובם.

מגוון הצומח

בתי גידול ים תיכוניים ידועים במגוון הצומח הגבוה שלהם (Medail and Quesel, 1999). מתוצאות המחקר עולה כי יער האורן הנתוע מקיים בתוכו את מגוון הצומח האופייני לאזור הים תיכוני, ומיני הצמחים השונים מנצלים את מגוון הנישות שהיער מספק (Zangy et al., 2021). דילול היער הגדיל את עושר מיני הצמחים בתת-היער עד כדי פי שניים כמעט, ואת העלייה הזו בעושר המינים ניתן לייחס בעיקר לכניסה של מינים עשבוניים חד-שנתיים, שרובם הגדול אוהבי אור, מהשטחים הסובבים את היער (מאגר המינים המקומי – regional species pool) אל תוך החלקות המדוללות (Zangy et al., 2021). בתוך כשנתיים התקרב עושר המינים בחלקות הכריתה המלאה לעושר המינים שנמדד בחלקות הבלתי מיוערות הסמוכות (שטח הייחוס), אם כי גם לאחר עשר שנים מאז הדילול הוא עדיין מעט נמוך יותר. מצד שני, נמצאו מינים שמבחינת הנוכחות שלהם (תדירות ההופעה בדגימות) הראו העדפה דווקא לתנאי היער הצפוף (23 מינים), בהם מיני מטפסים כדוגמת פרסיון גדול (*Prasium majus* L.), שיחים כמו געדה מפושקת (*Teucrium divaricatum* Heldr.), עצים כמו אלה ארץ-ישראלית (*Pistacia palaestina* Boiss.) ועשבים רב-שנתיים כמו מלעניאל קצר מלענים (*Stipa bromoides* (L.) Doerfl.). ממצא זה מכוון לעיצוב יער בעל מגוון רמות כיסוי כאסטרטגיה לעידוד המגוון הביולוגי והמורכבות המבנית של היער (Madrigal-Gonzalez et al., 2013).

המחקר באתר ה-LTER ביער הקדושים מספק פרספקטיבה של יותר מעשור על ההשלכות של טיפולי דילול ביער אורן ירושלים בוגר במספר היבטים שמנהלי היער הגדירו כיעדי ממשק עיקריים. היבטים אלה כוללים את החיוניות ותוחלת החיים של דור היער הראשון, התבססות הדור הבא, מגוון הצומח ויצרנות היער.

חיוניות עצי היער הבוגרים

מתוצאות המחקר עולה כי ההשפעה של טיפולי הדילול על מדד שטח העלים של חופת היער ($LAI_{overstory}$), שנעו בין סילוק של כ-30% ממנו (דילול מתון) ועד כדי סילוק של 100% ממנו (כריתה מלאה), נשמרה לאורך יותר מעשור מאז הדילול ללא שינוי משמעותי. דפוס זה שונה מהדפוס המוכר ביערות, שלפיו לאחר דילול מתרחשת עלייה מהירה ועקבית ב- $LAI_{overstory}$ בעקבות צימוח מוגבר של העצים שנותרו ביער ונהנים מזמינות משאבים רבה יותר (חת ושפטר, 1983). את חוסר היכולת של העצים להגדיל את שטח העלים שלהם לאחר הדילול ניתן לייחס לגילם המתקדם יחסית בזמן הדילול ולמצב הפיזיולוגי שלהם לאחר שנים ארוכות של גידול בתנאים קשים של צפיפות גבוהה ומגבלת משאבים (Calev et al., 2016). עם זאת, למרות חוסר היכולת להגדיל את כמות העלווה הגדילו העצים בעקבות הדילול את כושר ייצור הביומסה על ידי התעבות הגזע עד כדי פי ארבעה בערך. נתון זה מעיד על השפעה דרמטית של הדילול על חיוניות העצים, וניתן לייחס השפעה זו לעלייה ביעילות של שטח העלים הקיים הודות לזמינות רבה יותר של אור ומשאבי קרקע (מים, מינרלים) ליחידת שטח עלה (Moreno-Gutierrez et al., 2011). נוסף על כך, הדילול הפחית באופן ניכר (עד יותר מפי עשרה) את שיעור תמותת העצים ביער. בעוד שנתון זה עולה בקנה אחד עם שחרור המשאבים לעצים הנותרים עקב הדילול (אפקט השחרור – Moreno-Gutierrez et al., 2011; Giuggiola et al., 2013), ניתן גם לייחס אותו לכך שהדילול סלקטיבי ומתמקד בסילוק העצים החלשים ביותר (אפקט הסלקציה – Stoneman et al., 1997). תוצאות המחקר מראות כי ביצוע דילול ביערות אורן ירושלים ותיקים וצפופים צפוי לשפר את החיוניות ואת אורך החיים של העצים וכן את כושרם להתמודד עם מגבלת משאבים (למשל יובש גובר – Giuggiola et al., 2013).

התחדשות טבעית של עצים

תוצאות המחקר הראו כי דילול היער האיץ במידה ניכרת את ההתבססות של זריעי אורנים בתת-היער. למרות זאת, שיעור הגיוס גם בחלקות הפתוחות ביותר היה מתון יחסית (כ-25% זריעים לדונם לכל היותר). נוסף על קצב הגיוס המוגבר, גם הקצב של התפתחות זריעי האורן עלה בצורה

לעומת 30–60%, בהתאמה) היא תוצאה של עלייה ביעילות הייצור של שטח העלים שנותר לאחר הדילול, כפי שהוסבר בסעיף הראשון של הדיון בקשר לחיוניות עצי היער. לעומת הירידה ביצרנות חופת היער חלה עלייה הדרגתית ביצרנות תת-היער שתאמה לעוצמת הדילול. עשר שנים לאחר הדילול גדלה היצרנות של תת-היער פי ארבעה בדילול מתון, פי 5.8 בדילול החזק ופי 8.3 בכריתה המלאה. עם זאת, בכל טיפולי הדילול, מדד שטח העלים של הצמחייה והיצרנות הכוללת (חופת היער ותת-היער) טרם השיגו במלואם את הערכים שהתקיימו טרם הדילול. בדילול המתון היצרנות עמדה על כ-96% מערך השיא, בדילול החזק על כ-86% ובכריתה המלאה על כ-64%. לפיכך, בכל הטיפולים המערכת האקולוגית טרם שבה למצב של שיווי משקל אקו-הידרולוגי (Osem et al., 2016).

סיכום

המחקר המתמשך ביער הקדושים מספק פרספקטיבה של עשור על ההשפעות של טיפולי דילול ביער אורן ירושלים בוגר ומפותח, הגדל בסביבה ים תיכונית מוגבלת מים. תוצאות המחקר הראו כי טיפולי הדילול שיפרו את חיוניות העצים וצמצמו את התמותה שלהם, עודדו גיוס והתפתחות זריעי אורנים, צמצמו גיוס אלונים אך עודדו התפתחות של זריעי אלונים מבוססים, והגדילו את מגוון הצומח ואת היצרנות בתת-היער וזאת במחיר צמצום היצרנות של חופת היער.

תוצאות המחקר ממחישות את האפקטיביות של טיפולי דילול בעיצוב מבנה היער ובחיוניות מגוון תהליכים המכתיבים את הדינמיקה והתפקוד של המערכת האקולוגית. ממשק דילולים המשמר את מדד שטח העלים של הצמחייה בכללותה ($LAI_{ecosystem}$) מתחת לערך המרבי (LAI_{max}) יבטיח זמינות משאבים רבה יותר לצמחייה הקיימת ביער ויתרום להתמודדות עם מחסור מים גובר עקב בצורות ושינוי האקלים.

לפירוט נרחב יותר בנושא השפעות הדילול על הרכב המינים ביער ראו Zangi et al. (2021).

יצרנות

הנחה בסיסית של מחקר זה הייתה ששטח היער הנחקר מצוי בשיווי משקל אקו-הידרולוגי, שמשמעותו ערכים מרביים של מדד שטח העלים של הצמחייה בכללותה ($LAI_{ecosystem}$) ושל יצרנות, המשקפים ניצול מלא של משאבי בית הגידול, בדגש על משאב המים. הנחנו כך, היות שמדובר ביער בוגר, צפוף ומפותח, שלא חווה הפרעה משמעותית או דילול יערי במשך עשרות שנים. על פי נתוני המחקר אפשר לראות שערך מדד שטח העלים המרבי שבית הגידול יכול לתמוך בו (LAI_{max}) בשטח המחקר קרוב ל-3 מ"ר שטח עלים למ"ר קרקע. ערך זה מתקיים לאורך זמן עם תנודות בין-שנתיות קלות בחלקות הלא מדוללות של היער. עצי חופת היער תורמים 60–75% ממנו ($LAI_{overstory} = 2.3-1.8$), והשאר נתרם על ידי צמחיית תת-היער. במצב זה היצרנות השנתית הכוללת של היער, שמורכב מעצים בוגרים, מתת-יער מעוצה ומצמחייה עשבונית, עומדת על כ-235 גרם חומר יבש למ"ר בשנה בממוצע (לעשר שנים). ערך זה משקף את הייצור ראשוני נטו של היער (Net Primary Productivity) (- NPP).

ההנחה הבאה של המחקר הייתה כי דילול שיפחית את שטח העלים הפעיל ליחידת שטח קרקע ביער יגרום להפחתה מיידית ביצרנות היער ובו-בזמן לשחרור משאבים עבור הצמחייה הנותרת בהתאם לעוצמת הדילול, ושהמשאבים הזמינים יובילו להאצת הצימוח (צבירת שטח עלים) ולעלייה הדרגתית ביצרנות. אכן, טיפולי הדילול גרמו להפחתה של 30% (דילול מתון), 60% (דילול חזק) ו-100% (כריתה מלאה) ממדד שטח העלים בחופת היער ($LAI_{overstory}$), 18%, 36% ו-60% מה- $LAI_{ecosystem}$ בהתאמה). בעקבות זאת, חלה ירידה ביצרנות של חופת היער בכ-10 גרם למ"ר בשנה (4%) בדילול המתון, 30 גרם למ"ר בשנה (13%) בדילול החזק, ועד כ-80 גרם למ"ר בשנה (100%) בכריתה המלאה. הירידה המתונה יחסית ביצרנות בהשוואה לירידה ב- $LAI_{overstory}$ (13%–4)

מקורות

חת ד ושפטר א. 1983. התפתחות אורן ירושלים ואורן ברוטיה בהשפעת עצמות דילול שונות. *ליערן*, 33 (4–1), 13–18.
 כלב א. 2013. *טיפולי דילול ביער אורן ירושלים בוגר: השפעות על בריאות וחיוניות עצי היער* (עבודת גמר לקבלת תואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
 מאירוביץ א. 2018. *השפעת טיפולי דילול על התארגנות שטח עלים ביערות אורן ירושלים מוגבלי מים* (עבודת גמר לקבלת תואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
 רוח מ, אבני ג, בונה ע, ברוידא ד, קפלן י ושפטר א. 1990. *תכנית מעודכנת לניהול וטיפול ביערות נטע אדם*. מפ"ק, אגף הייעור, קק"ל.

אסם י וצורף ח. 2020. *תורת ניהול היער בישראל, דילול יער מחטני*. ירושלים: אגף הייעור קרן קיימת לישראל.
 אסם י, ברנד ד, טאובר י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. *תורת ניהול היער בישראל, מדיניות והנחיות לתכנון ולמשק היער*. ירושלים: אגף הייעור, קרן קיימת לישראל.
 אשכנזי מ, אונגר י"ד, משה י, יחזקאל א, צורף ח ואסם י. 2018. *טיפול באזורי חיץ לאש והשפעתו על סכנת שריפה ביערות מחטניים*. *אקולוגיה וסביבה*, 9(30–39).
 זנגי א. 2019. *יחסי גומלין בין כיסוי חופת היער לבין צומח התת-יער* (חיבור לקבלת תואר דוקטור). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.

- Moreno-Gutierrez C, Barbera GG, Nicolas E, De Luis M, Castillo VM, Martinez-Fernandez F, et al. 2011. Leaf d 18O of remaining trees is affected by thinning intensity in a semiarid pine forest. *Plant Cell and Environment*, 34, 1009–1019.
- Osem Y and O'Hara K. 2016. An ecohydrological approach to managing dryland forests: Integration of leaf area metrics into assessment and management. *Forestry*, 89, 338–349.
- Osem Y, Touber I, Atzmon N, and Perevolotsky A. 2008. Sustainable management of Mediterranean planted coniferous forests: An Israeli definition. *Journal of Forestry*, 106(1), 38–46.
- Osem Y, Yavlovich H, Zecharia N, Atzmon N, Moshe Y, and Schiller G. 2013. Fire-free natural regeneration in water limited *Pinus halepensis* forests: A silvicultural approach. *European Journal of Forest Research*, 132, 679–690.
- Osem Y, Zangy E, Bney-Moshe E, Moshe Y, Karni N, and Nisan Y. 2009. The potential of transforming simple structured pine plantation into mixed Mediterranean forests through natural regeneration along a rainfall gradient. *Forest Ecology and Management*, 259, 14–23.
- Stoneman GL, Crombie DS, Whitford K, Hingston FJ, Giles R, Portlock CC, et al. 1997. Growth and water relations of *Eucalyptus marginata* (jarrah) stands in response to thinning and fertilization. *Tree Physiology*, 17, 267–274.
- Webb N, Wood J, and Nicholl C. 2008. User Manual for the SunScan Canopy Analysis System Delta-T Devices Ltd.
- Zangy E, Kigel J, Cohen S, Moshe Y, Ashkenazi M, Fragmen-Sapir O, et al. 2021. Understory plant diversity under variable overstory cover in Mediterranean forests at different spatial scales. *Forest Ecology and Management*, 494, 1–10.
- Calev A, Zoref C, Tzukerman M, Moshe Y, Zangy E, and Osem Y. 2016. High-intensity thinning treatments in mature *Pinus halepensis* plantations experiencing prolonged drought. *European Journal of Forest Research*, 135, 551–563.
- Cooper A, Shapira O, Zaidan S, Moshe Y, Zangi E, and Osem Y. 2014. Oak restoration in a pine plantation: Effect of overstory light interception on understory oak performance in a water limited forest. *European Journal of Forest Research*, 133, 661–670.
- DeBell DS, Harrington CA, and Shumway J. 2002. *Thinning shock and response to fertilizer less than expected in young Douglas-fir stand at wind- river experimental forest*. Research Paper, PNW-RP-547, Pacific Northwest Research Station, Forest Service, Department of Agriculture, United States.
- Eagleson PS. 1982. Ecological optimality in water-limited natural soil-vegetation systems: 1. Theory and hypotheses. *Water Resources Research*, 18, 325–340.
- Giuggiola A, Bugmann H, Zingg A, Dobbertin M, and Rigling A. 2013. Reduction of stand density increases drought resistance in xeric Scots pine forests. *Forest Ecology and Management*, 310, 827–835.
- Lagergren F, Lankreijer H, Kučera J, Cienciala E, Mölder M, and Lindroth A. 2008. Thinning effects on pine forest transpiration in central Sweden. *Forest Ecology and Management*, 259, 2312–2323.
- Long JN, Dean TJ, and Roberts SD. 2004. Linkages between silviculture and ecology: Examination of several important conceptual models. *Forest Ecology and Management*, 200, 249–261.
- Madrigal-Gonzalez J, Garcia-Rodriguez JA, Puerto-Martin A, Fernandez-Santos B, and Alonso-Rojo P. 2010. Scale-dependent effects of pines on the herbaceous layer diversity in a semi-arid Mediterranean ecosystem. *Community Ecology*, 11, 77–83.
- Medail F and Quezel P. 1999. Biodiversity hotspots in the Mediterranean basin: Setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13, 1510–1513.

מדידות שטח עלים. יער הקדושים,
יוני 2016
צילום: אורי מאירוביץ





מבט אבולוציוני על 20 שנות ניטור ארוך טווח ברמת הנדיב

ליאת הדר^{1*} | אבי פרבולוצקי²

1 רמת הנדיב
2 המכון למדעי הצמח, מנהל המרכז החקלאי – מכון וולקני
* Liat@ramathanadiv.org.il

תקציר

שונים של מצב המערכת האקולוגית מנטרים ברציפות, בהם ההרכב והמבנה של אוכלוסיות הצומח ושל קבוצות ביולוגיות נבחרות. לצד היתרונות בשמירה על פרוטוקולים קבועים, התוכנית השתנתה עם הזמן עקב תובנות חדשות ביחס למאמץ הדגימה וחיידושים טכנולוגיים. לצד שינויים אלה, ובד בבד עם הניטור האקולוגי, התגבשה תפיסה חדשה של מחקר סוציו-אקולוגי ארוך טווח (LTSER), הרואה את האדם כמרכיב אינטגרלי במערכת וכיחידה נחקרת בפני עצמה.

במסגרת זו התבצעו מחקרים שנועדו לזהות ולאפיין את דפוסי הפעילות המרחביים והעיתיים של המבקרים בפארק, ובהמשך לאפיין את חוויית הטבע, הזיקה לטבע, המוטיבציות לביקור והשלומות (wellbeing), בין השאר בהשפעת סגרי הקורונה.

המאמר עוסק בהיסטוריה של הקמת התחנה לניטור ארוך טווח ברמת הנדיב ובאבולוציה המחקרית והתפיסתית שעברה התחנה במהלך 20 שנות קיומה מהקמתה ב-2003 כתחנה לניטור אקולוגי ועד להתפתחותה כפלטפורמה סוציו-אקולוגית ברשת האירופית. מוצגים בו שלושה פרויקטים כחקרי מקרה והתובנות העולות מהם: ניטור הצומח העשבוני, קינון עופות וצבאים.

פארק הטבע רמת הנדיב הוא פסיפס נופי מגוון, ובו עושר גבוה של בעלי חיים וצמחים מקומיים. הפארק הוא "מיקרוקוסמוס" של השטחים הפתוחים בחבל הים תיכוני בישראל ואתר ייחודי בקנה מידה ארצי. מסוף שנות ה-80 מיושם ממשק אקטיבי לניהול שטח הפארק, המלווה במחקר ובמעקב. הצורך בהבנת השפעות הממשק ובחינתן בממד הזמן, והרצון לשמר ולהעשיר את מגוון המינים, החברות, הנופים והתהליכים האופייניים לנוף הפארק הביאו להחלטה להקים, לאחר כ-20 שנות מחקר, מערך מובנה לניטור אקולוגי ארוך טווח. התוכנית נבנתה כך שתתייחס לתהליכים ולאיומים המרכזיים על נוף הפארק, ובראשם התפשטות הצומח המעוצה, סגירת החורש וסכנת השרפות, וכן לשאיפה לשמר ולהעשיר את המגוון הביולוגי והנופי.

במסגרת זו נבנו פרוטוקולים, ומשתנים המייצגים היבטים

מילות מפתח

חוויית הטבע, מחקר ארוך טווח, ניטור סוציו-אקולוגי, צבאים, צומח עשבוני, קינון עופות

הקדמה

האקולוגית בין הפארק לסביבתו ובצמצום קונפליקטים בין חיות בר ובני אדם.

ראשית המחקר והקמת תחנת ה-LTER

המחקר ברמת הנדיב החל רשמית עם תחילת שיתוף הפעולה בין קרן יד הנדיב והחברה להגנת הטבע (1985) במטרה למפות ולהכיר לעומק את המערכת האקולוגית והאנושית בפארק ולספק בסיס מדעי לפעולות הפיתוח שהתבצעו בו. מאחורי גישה זו עמדה תפיסת הממשק האדפטיבי (ממשק מסתגל, Haney and Power, 1996) שלפיה מידע מדעי טוב יצמצם את האי-ודאות שמלווה את ההתערבות בטבע ויסייע לקבל החלטות ממשק מושכלות. תפיסה זו היא גם אחד מעמודי התווך של הרשת למחקר אקולוגי ארוך טווח (Baker et al., 2000; Haase et al., 2016).

בראשית האלף השלישי, ולאחר קרוב ל-20 שנות מחקר, היו מאחורינו עשרות מחקרים קצרי טווח שנמשכו ברובם בין שנתיים לארבע שנים, עסקו במגוון נושאים ונאספו בהם נתונים במגוון שיטות, קני מידה ואמצעים שונים ללא כל אינטגרציה ביניהם או חשיבה לטווח הארוך. בשלב זה הגענו להכרה כי אתגרי הממשק והצורך בהבנה מעמיקה יותר של ההשלכות האקולוגיות שיש להתערבויות הממשקיות שיזמנו וביצענו, דורשים בחינה גם בממד הזמן, וכי יש להקים מערך של מחקר וניטור אקולוגי ארוכי טווח. המהלך החל בשנת 2001, בתהליך חשיבה משותף למספר מדענים ובעלי עניין שהיו מעורבים בניהול המקצועי של הפארק דאז. לאחר תקופה של ריכוז תפיסות ודעות, דיונים ארוכים וגיבוש חזון משותף, הוחלט להתחבר למגמה העולמית ולהקים ברמת הנדיב תוכנית לניטור אקולוגי ארוך טווח שתהפוך את האתר לתחנת LTER לכל דבר ועניין.

בגיבוש התוכנית עמדו לנגד עינינו שתי מטרות עיקריות, מדעית וממשקית. שאפנו כי הניטור יסייע לשיפור ולהתאמה של הממשק בפארק במטרה לשמור על מגוון המינים, החברות, הנופים והתהליכים האופייניים לנוף הפארק ולהעשיר אותו. מבחינה מדעית קיוונו שבמסגרת זו יפותחו שיטות חדשות וחדשניות למחקר, לניטור ולממשק וכן מודלים לחיזוי השינויים הצפויים במערכת האקולוגית, שיהפכו את הפארק למודל לניהול שטחים פתוחים ים תיכוניים. לצד מטרות אלה, רצינו גם להנגיש את המידע שייאסף לאורך השנים לסטודנטים, לתלמידים ולציבור, במטרה להעשיר את הידע ולהעלות את המודעות לנושאי ממשק ושמירת טבע (איור 1).

השאלה המרכזית שעמדה בפנינו הייתה איך לייצג את מורכבות המערכת והשינויים בה לטווח הארוך – באילו נושאים וסקאלות זמן ומרחב נכון להתמקד? אילו משתנים

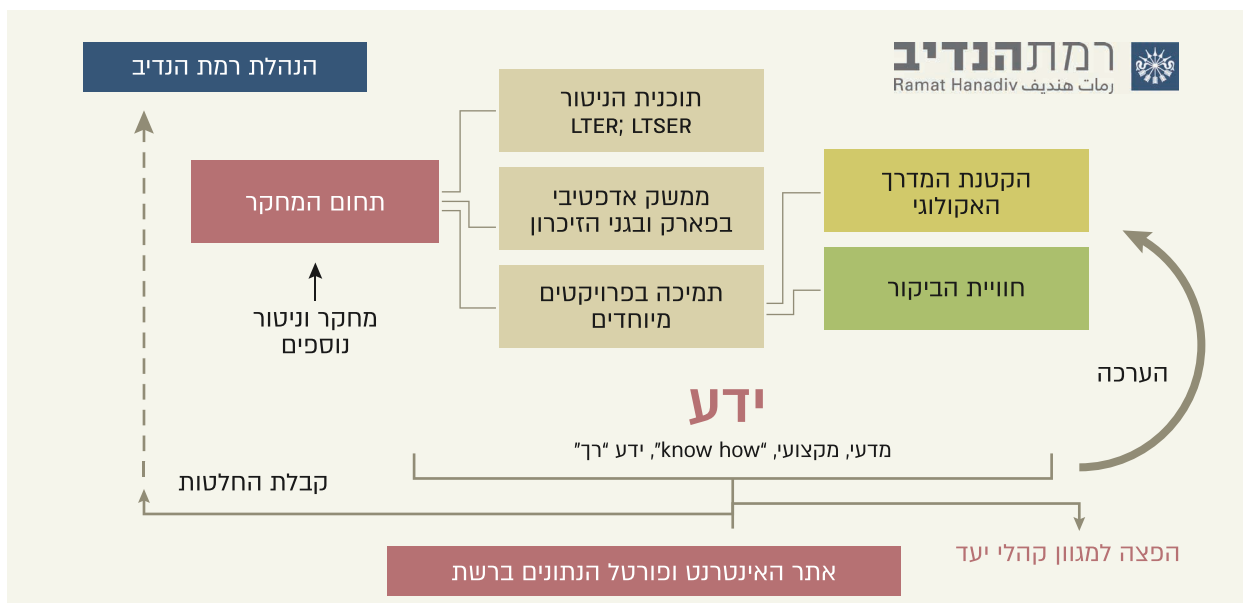
רמת הנדיב היא פארק בבעלות פרטית, ובו גני זיכרון לברון אדמונד דה רוטשילד, המופעלים ומנוהלים לשימוש הציבור ולרווחתו על ידי קרן רוטשילד. האתר משתרע על פני כ-5,000 דונם בדרום הכרמל, ומשקיף על מישור החוף ממערב ועל גבעות השומרון ממזרח. השטח גובל במרחב הבנוי של זכרון יעקב ובנימינה ובחקלאות אינטנסיבית, ומוקף בתשתיות כבישים ורכבת. בלב הפארק נמצאים גני הזיכרון המטופחים וקבר הברון ורעייתו עדה.

פארק הטבע הוא פסיפס נופי מגוון המשלב תצורות צומח טבעיות, חורשות נטועות וחקלאות מסורתית, ותומך במגוון עשיר ויוצא דופן של בעלי חיים וצומח מקומיים, כולל כ-25% מצמחי ישראל כולה, ובהם עשרות מינים נדירים, אנדמיים או בסכנת הכחדה חמורה. עולם החי בפארק מגוון, ומייצג את האזור הים תיכוני עם 26 מיני יונקים, 30 מיני זוחלים ו-45 מיני עופות המקננים בשטחו.

הפארק הושפע מפעילות אדם במשך עשרות אלפי שנים ועוצב לפיה. נמצאים בו אתרים היסטוריים וארכאולוגיים מתקופות שונות המושכים קהל מגוון, וניתן להגיע אליהם באמצעות מערכת שבילי הליכה ורכיבה. השילוב בין צומח טבעי, נטוע ושטחי חקלאות, תשתית הסלע-קרקע המגוונת, המגוון הביולוגי הגבוה, הרשפה הגדולה שהתחוללה בפארק ב-1980 וריבוי שימושי הקהל ולחצי הפיתוח באזור, הפך את פארק הטבע של רמת הנדיב למעין "מיקרוקוסמוס" של השטחים הפתוחים בחבל הים תיכוני בישראל (פרבולוצקי, 2013) ולאחר ייחודי בקנה מידה ארצי.

גיבוש תפיסה ניהולית ואתגרי הממשק בפארק

החל מסוף שנות ה-80 יושמה מדיניות של ממשק אקטיבי לניהול שטח הפארק. בניגוד לגישה המסורתית יותר של "לתת לטבע לעשות את שלו", ממשק אקטיבי דוגל בהתערבות בתהליכים האקולוגיים להשגת סוגים שונים של תועלת מהמערכת האקולוגית (הגנה משרפות, מגוון ביולוגי ונופי, טיול ונופש, מוצרי בשר, חלב ודבש ועוד). גישה כזו חיונית להתמודדות עם האתגר הגדול של ניהול נופים שהתפתחו בעת הפרעות אנתרופוגניות תכופות (FAO and Plan Bleu, 2018). בדומה למקומות אחרים סביב אגן הים התיכון, אתגרי הממשק העיקריים הם ויסות של כיסוי הצומח המעוצה, מניעת שרפות, ניהול ממשקים מיטביים של רעיית בקר ועיזים ומציאת הממשק המותאם ביותר להתמודדות עם השפעות שינוי האקלים ועם מיני צומח ובעלי חיים מתפרצים ופולשים. עומסי המבקרים ולחצי הפיתוח הגוברים סביב הפארק מעוררים דאגה באשר לגורל חיות הבר, ומאמצים רבים מושקעים בשמירת הקישוריות



איור 1

מודל העבודה מחקר-ממשק ברמת הנדיב

שרעיית חיות משק (בקר וצאן) היא כלי ממשקי חשוב ברמת הנדיב, ניתנה לו תשומת לב בגיבוש תוכנית הניטור. נבנתה תוכנית ניטור לצומח המעוצה והעשבוני, והוקמו עשר חלקות המייצגות בתי גידול וממשקי רעייה שונים, כולל חלקות ביקורת. נכתב פרוטוקול ונאספו באופן רציף נתונים על המבנה, ההרכב ומגוון הצומח. פרויקט זה ממשיך עד היום, כבר 20 שנה, באותן החלקות והשיטה (הרחבה בהמשך). ביומסה עשבונית על-אדמתית נמדדה באומדנים חזותיים מלווים בכיול ובשקילה במטרה לסייע בקבלת החלטות סביב ממשק רעיית הבקר. עם הזמן, ולנוכח ההבנה כי קשה לנהל את עדר הבקר על בסיס משתנה זה מסיבות הקשורות למבנה הצומח וליכולת ביצוע הניטור בכתמים העשבוניים בלבד, השתנתה שיטת הדגימה, ועם הזמן הופסקה (טבלה 1).

מבחינת עולם החי, הוחלט להתמקד במספר קטן של מינים וקבוצות מפתח, המייצגים היבטים שונים של מצב המערכת האקולוגית: חברת העופות המקננים (סך כל המינים) ואוכלוסיות הצבאים (אוכל עשב גדול), תנים (טורף, מין מתפרץ) וחוגלות (דוגר קרקע, אינדיקטור לטריפה ולסגירת החורש). לכל מין וקבוצה נבנה פרוטוקול ייעודי, תוך לימוד מהספרות ובשילוב ידע ממומחים. סקר דריסות החל בשנת 2003 כאמצעי נוסף לניטור הדינמיקה של אוכלוסיות חיות בר, לאיתור צווארי בקבוק למעבר בעלי חיים, ולטובת תכנון עתידי של מעברים בכביש. עם השנים הובנה הסקר, והוא מתקיים עד היום ברציפות 364 ימים בשנה. ממצאי הסקר למדנו כי אחד המקטעים בכביש 652 (מול פארק

ייתנו מידע מרבי ויתרעו על בעיות? מהם האינדיקטורים הביולוגיים המתאימים (למשל, מיני מפתח מול מיני מטרה)? לתפיסתנו, תחנת LTER, בניגוד לתחנת מחקר רגילה, דורשת התבוננות הוליסטית ומערכתית יותר ומבט היררכי. כלומר, עליה להתמקד מצד אחד ב"מצב הטבע" דרך ניטור אוכלוסיות מרכזיות, ומצד שני לבחון את השפעת טיפולי הממשק ושימושי הקרקע השונים בפארק על משתנים המעידים על הצלחת הממשק וחשיבותו. כסקאלה המרחבית הנכונה לניטור נבחר קנה המידה של הפארק כולו (4,700 דונם), המאפשר לבצע אקסטרפולציה (חיץ) של תוצאות במרחב ובזמן. פעולה זו מורכבת ואינה טריוויאלית, והיא דורשת ידע לגבי המידה שניתן לתרגם מסקנות וממצאים מסקאלה צרה לרחבה יותר או בין רמות ארגון שונות (Wu and Hobbs, 2002). לידע כזה חשיבות מכרעת בהקשר של בחירת אתרי הדגימה. היות שמשלב מוקדם הבנו כי אין ביכולנו לייצג את מורכבות הפארק, החלטנו לבחור למעקב ארוך טווח מספר משתנים בעלי משמעות להגדרת מצב הפארק ולהשפעות הממשק המיושם במקום. הוחלט להקים מערך ניטור פשוט יחסית שיאפשר איסוף נתונים על ידי אנשים שונים לפי פרוטוקולים מובנים ובשיטות ידועות המתוארות בספרות ונמצאות בשימוש נרחב. התוכנית נבנתה כך שתתייחס לתהליכים ולאיומים המרכזיים על נוף הפארק, ובראשם ויסות כיסוי הצומח המעוצה, צמצום סכנת השרפות ושמירה על פסיפס נופי מגוון, וזאת מתוך ההבנה שמבנה תצורות הצומח הוא הגורם המרכזי בקביעת המגוון הביולוגי בנוף הים תיכוני של הפארק. היות

2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	פרמטר
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	נתונים מטאורולוגיים
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V					איכות המים וספיקת המים בעין צור
								V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	ביומסה עשבונית
										V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	כיסוי ומבנה של הצומח המעוצה
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	מגוון והרכב של הצומח העשבוני
V	V	V	V							V	V	V	V	V						השפעת האקלים על האלון המצוי
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V					השפעה נופית של רעיית עיזים
											V	V	V	V	V	V				צמחים נדירים (דמוגרפיה ופנולוגיה)
								V	V	V	V	V	V	V	V					ניטור ביוגאוכימי
V	V	V	V	V	V	V	V	V												פנולוגיה של פריחה
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	חוגלות (מבנה האוכלוסייה וגודלה)
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	צבאים (מבנה האוכלוסייה וגודלה)
											V									טורפים בינוניים (מבנה האוכלוסייה וגודלה)
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	סקר דריסות סובב רמת הנדיב
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	עופות מקננים (הרכב חברה ובית גידול)
																				עופות לילה
V	V																			מיינות
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V				פרפרים
V	V	V	V	V																דבורי דבש ודבורי בר
V	V	V	V	V																נמלת האש הקטנה

V שנת תחילת הניטור V ניטור לפי הפרוטוקול הראשוני V ניטור לאחר שינוי בשיטה □ ללא ניטור

טבלה 1
תוכנית הניטור ארוכת הטווח 2003–2022

תוכנית אדפטיבית עם "אצבע על הדופק"

חשוב לציין כי לצד היתרונות הברורים של שמירה על פרוטוקול ניטור קבוע בזמן, אנו מאמינים כי מערך ההחלטות ושיטות העבודה הנובעות מהן אינם קופסה קשיחה, ושינוי בפרוטוקול, אם ישנה לכך סיבה משכנעת, אינו קטיעת השרשרת. אנו מבינים שעם הזמן גם פרוטוקולים שתוכננו בקפידה ולאחר חשיבה זקוקים לעדכונים ולשינויים לאור תובנות חדשות ביחס לעבודת השדה, שיטות ניתוח חדשות וגורמים נוספים. בהתאם לתפיסה זו, הרעיון היה לבנות "פרוטוקולים אדפטיביים" (איור 2) שישתנו ויתעדכנו אחרי תקופת הרצה שתאפשר לבחון את איכות התוצר ביחס למאמץ הדגימה ולמשאבים הנדרשים (Oakley et al., 2003). אומנם שינויים כאלה עלולים לפגוע ביכולת להסיק מסקנות מדעיות מבוססות מהניטור, אבל לנגד עינינו עמדה

ל'בוטינסקי-שוני) הוא מוקד ("hot spot") של דריסות, וכי רוב הדריסות בכביש בעשור האחרון היו של תנים (44.7%). כמו כן, השתמשנו בשינויים בתדירות הדריסות לאורך התקופה כמדד למגמות באוכלוסיות המינים השונים (ארנון והדר, 2022; Bil et al., 2021).

מעקב ממושדר התבצע אחר מספר איילי כרמל ששוחררו לטבע, אך לצערנו אוכלוסייה זו התמעטה עם השנים, וככל הנראה נכחדה לגמרי משטח הפארק.

למשתנים הביולוגיים התווסף מידע רציף מתחנה מטאורולוגית שהוקמה בפארק בשנת 2004, ולצידו נאספים נתונים גם על איכות המים והספיקה במעיין עין צור, המספק מי שתייה לחיות הבר שבפארק. בשנת 2014 הוקמה ברמת הנדיב תחנה לניטור רציף של מזהמי אוויר יחסי צמחייה-אטמוספירה בראשות חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים.

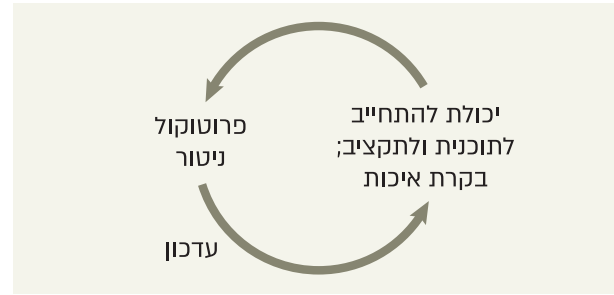
(Hallmann et al., 2017), אך הפעם בחרנו בשיטה חדשה הקרויה "מלכודת מלייז", והתמקדנו בחרקים מעופפים בלבד (בשיתוף המעבדה האנטומולוגית לאקולוגיה יישומית, מוזיאון הטבע, אוניברסיטת תל אביב והמארג, איור 3). לאחר הרצת המערכת במשך כשנתיים ומיון החומר לרמת הסדרה, נמצא כי קיימת חשיבות רבה למדידה של שני משתנים:

א. שפע הפרטים כמדד להשפעת האקלים על פעילות החרקים ולהשוואת מגמות פנולוגיות בין שנים; ב. ביומסת החרקים – מדד אוניברסלי לשינויים ארוכי טווח במשאבי המערכת האקולוגית (בן צבי, 2023).

דוגמה זו ממחישה את העובדה כי בחירת מערך המשתנים לתוכנית הניטור היא רק לכאורה אובייקטיבית לחלוטין ומונחת מטרות, אך למעשה תלויה במקום, בזמן ובתפיסת העולם של העומדים מאחוריה. קבוצת המשתנים שנבחרת צריכה להראות רגישות לשינויים, לזהות מגמות בזמן ולתת מענה לשאלות הבסיסיות העומדות בפני מקבלי ההחלטות. עם זאת, שיקולים נוספים מנחים את הבחירה, ובהם צורך השעה והמידה שהנושא נמצא על סדר היום, כמו במקרה של התייבשות אוכלוסיית האלון המצוי, תופעה שלא ניכרה בשטח בעת הכנת התוכנית. גורמים נוספים הם מורכבות הקבוצה, קלות הזיהוי ואמינותו, קיום שיטות עבודה מוכרות ומתועדות, ידע נצבר קיים, זמינות כוח אדם מקצועי לנושא, שיקולי עלות-תועלת ותקציב ומידת העניין הציבורי.

מאיסוף נתונים למידע ולתובנות

הטיפול בנתונים כרוך בלוגיסטיקה מורכבת, ולכל פרויקט מגויסים מומחים לתחום למספר ימים בשנה, לעבודת שדה על פי פרוטוקול אחיד ומובנה. כל הנתונים נאספים באמצעים דיגיטליים-מרחביים, ישירות למערכת ArcGIS Online. עם סיום איסוף הנתונים הם נשארים בידי צוות המחקר של רמת הנדיב, ועליו מוטלת האחריות לניתוחם



איור 2

פרוטוקול אדפטיבי

התרומה לממשק הפארק קודם לפרסום המדעי. הממצאים מנותחים באופן שוטף, ויכולתנו להפיק מהמדדים שבחרנו תובנות שיסייעו לממשק הפארק נבחנת בכל רגע. במקביל נערכים מחקרים וסקרים קצרי מועד שנועדו לבחון התאמת משתנים נוספים וקבוצות נוספות לתוכנית הניטור. למשל, קבוצת הזוחלים, הדו-חיים ופטריות הכובע נבחנו בסקרים ייעודיים ולא הוכנסו לתוכנית, ואילו ניטור התבססות אורן ירושלים בחורש הטבעי וכן התייבשות אוכלוסיית האלון המצוי התווספו אליה בשלב מאוחר יותר, עם זיהוי תופעה מדאיגה בשטח המחייבת להיות "עם אצבע על הדופק" (טבלה 1).

מקרה מעניין מתייחס למערכת פרוקי הרגליים (Arthropoda). בשנים 2007–2009 וכחלק ממאמץ מחקרי ארצי נערך מיפוי ראשוני במרחב, ונבנתה רשימת מצאי חלקית של הקבוצה באמצעות שילוב שיטות דגימה: מלכודות נפילה, נייעור שיחים וחביטה על עצים. כפועל יוצא של פרויקט זה הוחלט באופן גורף לא לכלול את פרוקי הרגליים בתוכנית הניטור הרציף, עקב מורכבות הקבוצה, הקשיים בזיהוי לרמת ארגון אחידה ומאמץ הדגימה הגבוה. עשור מאוחר יותר, בשנת 2020, הוחזרה הקבוצה לתוכנית הניטור בעקבות פרסום מאמר עם ממצאים מדאיגים מאירופה, שהדגיש את דחיפות הנושא ברמה העולמית

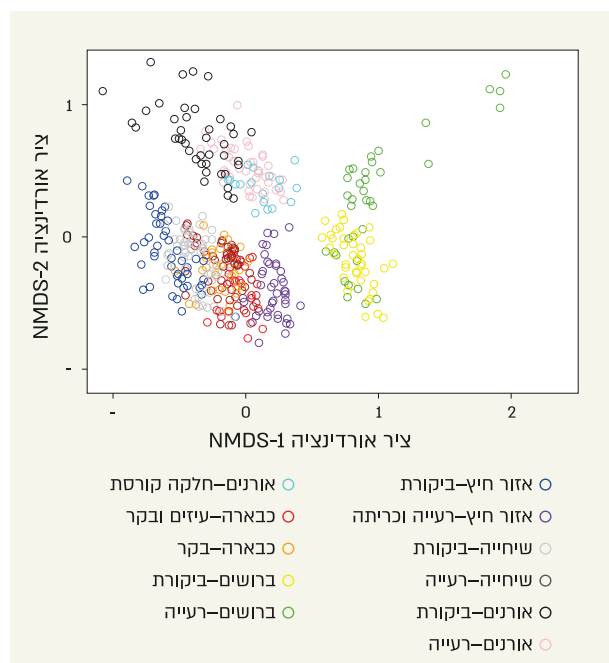


איור 3

מלכודת מלייז לניטור חרקים מעופפים
צילום: ליאת הדר

ניטור העושר, המגוון וההרכב של המינים בחברה העשבונית דורש מאמץ דגימה גבוה, מומחיות בזיהוי עד לרמת המין, הנמצאת כיום אצל מעטים, הפעלת מערך יקר ובעל לוגיסטיקה מורכבת לדגימה בשדה והיבטים של גיבוי וטיפול בנתונים. חרף המאמץ, בחרנו לכלול משתנה זה בתוכנית הניטור, עקב תרומתו המשמעותית להבנת המערכת ולקבלת החלטות לגבי ניהולה. השאלה המרכזית שעמדה לפנינו בהקשר לצומח הייתה: איזה ממשק ישמר את הרכב החברה לאורך זמן, ויביא לעושר מינים מרבי לצד שמירה על מגוון קבוצות תפקודיות ומינים נדירים?

כדי לענות על השאלה נדרשנו לאסוף נתונים שיאפשרו לעקוב אחר הדינמיקה והיציבות של חברת הצומח במרחב ובזמן ולהבין את השפעות הממשק (רעייה, כריתה, אזורי חיץ, נטיעות ועוד) והשלכותיהן לניהול הפארק. כמו כן, החשיבות היחסית של האתר וממשק הרעייה בקביעת הרכב החברה נבחנו באמצעות ניתוח אורדינציה, הממחיש בצורה חזותית דרך פיזור במרחב את מידת הדמיון בין הרכב המינים באתרים ובממשקי הרעייה השונים (איור 4). ממשקים שונים באותו אתר קרובים זה לזה במרחב הצירים, ואילו אתרים שונים מופרדים מרחבית. התוצאות מראות שלאחר יש חשיבות רבה יותר מאשר לממשק הרעייה בקביעת הרכב המינים בחלקה. ניתוח נוסף בחן את הזיקה של מינים וקבוצות תפקודיות



איור 4

השפעת האתר וממשק הרעייה על הרכב המינים ברמת הנדיב
 כל נקודה במרחב מייצגת את הרכב מיני הצומח בחתך אחד בשנה אחת (אורדינציה 2015 NMDS R Core Team).
 איור: ד"ר קרלי גולודיאץ.

באופן עצמאי או בסיוע חוקרים.

עם הקמת תוכנית הניטור בשנת 2003 שמנו לנגד עינינו מטרה להקים מסד נתונים (database) אינטראקטיבי ונגיש באינטרנט, שיכלול נתונים באיכות גבוהה שמלווים בתיעוד השיטות (metadata), כך שניתן יהיה לאתר ולשלוף את המידע בקלות. מסד הנתונים הוקם עבור הנתונים הנאספים ברציפות וכן ככתובת המאריכה את חיי הנתונים גם ממחקרים קצרי טווח שנעשו באתר. היות שפארק הטבע הוא גם מרחב גאוגרפי מוגדר, רצינו שכל הנתונים יהיו זמינים כשכבות במערכת הממ"ג (GIS), כך שניתן יהיה להצליב ביניהם בהתאם לשאלות המעניינות אותנו.

מסד הנתונים הוקם בשנת 2013, והמידע שבו, למעט פרויקטים בעלי רגישות מיוחדת, זמין ונגיש לציבור לצפייה ולשימוש. זו מדיניות שאינה נפוצה ואינה מובנת מאליה, והיא נובעת מתוך תפיסת עולם עמוקה שלפיה נתונים הם משאב חשוב, ותיעוד מצב המערכת האקולוגית והנגשתו לטובת מקבלי החלטות כיום (knowledge-based management) ולדורות הבאים הם מרכיב מהותי בתפיסת הקיימות. בסיס הנתונים נגיש ברשת גם לקהל הרחב, ועם השנים נבנו מפות סיפור, סיורים וירטואליים ועוד (אתר [ramathanadiv](http://ramathanadiv.com)).

רעיון ה-LTER הוא למעשה מסגרת ומודל עבודה (framework) שמראה כיצד איסוף מובנה ונכון של נתונים מאפשר ביצוע מחקר וממשק אינטגרטיביים (Baker et al., 2000). גם פרויקטים קצרי טווח המתבצעים בפארק (לתארים מתקדמים, למשל) הושפעו ממדיניות זו, והם מתבצעים בסטנדרטים גבוהים ואחידים ומחויבים להשאיר את הנתונים הגולמיים (raw data) במסד הנתונים שלנו ולהמליץ על האופי והתדירות של הניטור העתידי בכל תחום ונושא.

שלושה חקרי המקרה

חקרי המקרה מציגים היבטים שונים של תוכנית הניטור במבחן הזמן, ואת הקשר בין איסוף הנתונים, התובנות העולות מהם ויישומן הלכה למעשה.

א. ניטור חברת הצומח העשבוני: השקעה רבה עם ריבית גבוהה

הצומח העשבוני הוא מרכיב חשוב במערכת האקולוגית ומוקד משיכה לקהל הרחב, לתלמידים, לסטודנטים ולחוקרים מהארץ ומחו"ל. זהו ללא ספק אחד הנכסים החשובים בפארק, עם עושר של כ-670 מיני צמחים, ש-43 מהם מוגדרים נדירים, אנדמיים או בסכנת הכחדה. לצידם גדלים בפארק כ-200 מינים בעלי תועלת, או אבות מוצא של צמחי תרבות ומאכל.

אלה, לצד הכשרת הפארק לשימוש הציבור, היוו גורם חשוב בהחלטה לנטר לאורך זמן את חברת העופות.

סקרי ציפורים ברמת הנדיב התבצעו החל משנת 1988 אחת למספר שנים, לאורך עונת הקינון, תוך התמקדות במינים המקננים. משנת 2004 הוכנס הסקר לתוכנית ה-LTER של רמת הנדיב, ועבר מסקר מקיף ברמת הפארק כולו לניטור המשקף את השינויים החלים בשטח במאמץ דגימה סביר. גובשה שיטה, ונקבעו שלושה מסלולים קבועים, הנדגמים מאז כל שלוש שנים לאורך העונה.

ממצאי הסקר שיקפו את השינויים שחלו בהרכב חברת העופות לאורך השנים במקביל לשינויים בנוף הצומח – סגירת הנוף על ידי הצומח המעוצה לצד העלייה במינים שנהנו מבית הגידול של החורשות הנטועות והעצים הגבוהים (עורבים, עורבנים וקוקיות, כמו גם בזים וינשופים). מגמות עולמיות והגברת הלחץ האנושי בפארק ובסביבתו השפיעו אף הן, אם כי לא דרך מנגנונים ותהליכים הברורים לנו (אדר, 2013).

את 35 שנות הסקר ניתן לחלק לשלוש תקופות, שנבדלות מבחינת השיטה וטכנולוגיית איסוף הנתונים (1988–2001; 2001–2004; 2004–2023). הוכנו דו"חות פנימיים ופרסומים בעברית (פרבולוצקי, 2013) ובאנגלית (Colléony and Shwartz, 2020), והנתונים מניבים תובנות לגבי מגמות עלייה וירידה אצל מינים שונים במהלך התקופה. הממצאים אף נכללו במטה-אנליזה של נתוני מגוון עופות במסגרת LTER אירופה ופורסמו (Pilotto et al., 2020). למרות זאת, לא הצלחנו לערוך ניתוח מקיף של התקופה כולה, שיתחשב בשינויים שנערכו בשיטה עקב שינויים טכנולוגיים והצורך להעמיד בכנות שיקולי עלות-תועלת מול מטרות. כפי שנמצא גם בתוכניות ניטור נוספות, בבריטניה למשל (Rennie et al., 2020), בגלל שינוי במתודולוגיית הדגימה לא ניתן היה לייצר סדרת זמן אחת ממערכי הנתונים של התקופות השונות.

עם זאת, סקר הקינון הציב בפנינו כמותית את העלייה בעשור האחרון במספרי העופות הפולשים בפארק – הדררה (*Psittacula krameria*) והמיינה המצויה (*Acridotheres tristis*), שלא הופיעו בתקופות הקודמות, לצד הירידה באוכלוסיות של מקננים מקומיים, כמו דרור הבית (*Passer domesticus*), בולבול צהוב-שת (*Pycnonotus xanthopygos*) ודוכיפת מצויה (*Upupa epops*). ממצא זה הוביל למחקר מעמיק על המיינה, שמיפה את התופעה ובחן שיטות מעשיות לצמצום הנזקים האקולוגיים של המיינות בעונות ובשטחים רגישים. כלומר, הניטור הרציף וניתוח הנתונים "עם אצבע על הדופק" חשפו תופעה בעלת פוטנציאל להוות בעיה ממשקית, והניבו מחקר יישומי קלאסי. עם תום המחקר והלקחים שנגזרו ממנו, גובשו המלצות לפעולות ממשק לצמצום הבעיה, לצד הצעה להמשך ניטור האוכלוסייה (פינרוב, 2022).

(functional groups) שונות לטיפול הממשק. הנתונים נאספו על ידי בוטנאים מומחים ב-11 חלקות הממוקמות באתרים ובממשקים שונים בפארק, שגודל כל אחת מהן כ-3.5 דונם. האיסוף נערך אחת לשנתיים, לאורך 20 שנה (2003–2023), והנתונים נותחו מספר פעמים לאורך התקופה על ידי כעשרה חוקרים שונים. הממצאים סיפקו תובנות חשובות בעלות השלכות מעשיות.

חברת הצומח הראתה שונות רבה אך לא כיוונית בהרכב המינים בזמן, ורק פחות מרבע מהמינים (92) חזרו והופיעו בכל הסקרים. עבור רוב המינים לא נמצא קשר לממשק הרעייה, אך חלק מהם הראו זיקה חזקה יותר לאתר ספציפי. השפעת הרעייה (כאשר הייתה משולבת עם כריתה) על העושר, המגוון וההרכב של המינים הייתה מובהקת באזור החיץ המפריד בין הפארק לזכרון יעקב, ובתת-היער של חורשות האורנים, אך לא בשיחיה או בחורשת הברושים. למדנו כי הרכב חברה קבוע אינו יכול להיות יעד אופרטיבי לשימור. מינים רבים מופיעים ונעלמים בכל שנה, אבל אינם נכחדים מהשטח, ושימורם ארוך הטווח לא מצריך פעולות מיוחדות. דינמיקה זו תלויה בתנאים ספציפיים המשתנים משנה לשנה, ובתהליכים אקראיים של הפצה. הבנו ששימור כלל המינים יושג רק לאורך זמן, תוך שמירה על הטרוגניות מרחבית בסקאלות שונות, בין השאר בעזרת הרעייה.

למרות ההשקעה הגבוהה ואורך הרוח הנדרש, ניטור העשבונים הוא פרויקט עם תשואה גבוהה. לצד התרומה לקבלת החלטות מעשיות לגבי ממשק הרעייה בפארק, המגוון הגבוה תורם לחוסן של המערכת האקולוגית וליכולתה להתמודד עם שינויים, לצד ערכו הנופי ושירותי התרבות שהוא מספק. בסיס נתונים זה, הכולל מעקב רציף אחר צומח עשבוני ברמת המין ובסקאלות זמן ומרחב ארוכות ומפורטות, הוא ייחודי בישראל.

פרויקט נוסף שנוולד מניטור העשבונים והוכנס לתוכנית הוא ניטור הפנולוגיה של הפריחה ותייעוד כתמי פריחה משמעותיים במרחב ובזמן והשפעת האקלים עליהם, כמו גם הכוונת הקהל במהלך עונת הצמיחה לאזורים עם פריחה מרשימה (מ-2014).

ב. ניטור ארוך טווח של חברת העופות למחקר ממוקד – ובחזרה

אחד המשתנים שנבחרו לתוכנית הניטור ארוכת הטווח כאינדיקטור למצב המערכת האקולוגית בפארק וכמדד חליפי לשינויים במגוון הביולוגי כולו, היה חברת העופות המקננים. פעילות האדם לאורך מספר עשורים, שכללה שינויים בחקלאות (עיבוד מכני, ריסוסים, הדברת חרקים ועשבי בר), גידול בשטחים הבנויים על חשבון שטחי בתה ושיחיה, נטיעת עצים, הפחתת פעולות הרעייה והכריתה, שינוי האקלים ותהליכים גלובליים אחרים, השפיעה ומשפיעה באופן ניכר על חברת העופות בישראל. תהליכים

והובלנו, בשיתוף גופי סביבה והציבור, את המאמץ האזורי הסטטוטורי לקידום מסדרון אקולוגי רחב שיאפשר חיבור עם אוכלוסיות הצבאים ממזרח לרמת הנדיב. לאחר כעשור של עבודה מאומצת של גופים ואנשים רבים אושרה תוכנית המסדרון בשנת 2022.

היות שנראה כי לתנים במרחב סובב רמת הנדיב יש מזון זמין בשפע, התחלנו במיפוי מוקדי פסולת חקלאית, מזון עודף לחתולים ואשפה. מטרתנו היא לרסן את אוכלוסיית התנים ולסייע להתאוששות הצבאים ואוכלוסיות נוספות. המחקר בתחילתו, ועדיין אין בידינו נתונים.

מאקולוגיה לסוציו-אקולוגיה: אבולוציה של תוכנית הניטור

הדוגמאות שהוצגו בחלק הקודם הציגו את התמורות בזמן שחלו בתוכנית הניטור ברמת הנדיב, אם עקב שינויים בטכנולוגיות ובשיטות האיסוף או בשל אתגרים וצרכים חדשים שעלו מהשטח. לצד שינויים אלה התפתחה והתרחבה גם החשיבה.

כניסת רמת הנדיב לרשת LTER אירופה (2008) חשפה בפנינו תפיסה, שהחלה לחלחל ביבשת, שלפיה יש לראות ולחקור את השפעות האדם על מערכות טבעיות לא רק כגורמים מניעים חיצוניים אלא כמרכיב אינטגרלי של "מערכות חברתיות-אקולוגיות משולבות" (Haberl et al., 2006). תפיסה זו, של מחקר סוציו-אקולוגי ארוך טווח (LTSE), מתמקדת בקשרי הגומלין בין מערכות אנושיות ואקולוגיות (Collins et al., 2011; Mirtl et al., 2013), ומציעה חשיבה חדשה, המשלבת ניטור ארוך טווח, מחקר היסטורי, חיזוי ובניית תרחישים, לטובת קבלת החלטות בנות-קיימא (Singh et al., 2013; Mitchell et al., 2016), שתהיה מבוססת על ידע, שקיפות ומעורבות קהילתית. תפיסה הוליסטית זו אומצה על ידי רשת LTER ישראל עם הקמת פלטפורמת LTSE בערבה (אורנשטיין ושות', 2023 [בגיליון זה]; Orenstein and Groner, 2015).

סוגיית המסדרון האקולוגי שתוארה לעיל, וכן אירועים אחרים יצרו הבנה ברמת הנדיב כי לא נכון להמשיך ולתפקד כ"אי" התחום בגבולות הפיזיים של הפארק. מכאן התפתח הצורך להכיר ולחזק את הקשרים עם הקהילה והמבקרים, ותובנה זו חלחלה גם לתחום המחקר.

סנונית ראשונה בתחום היה מחקרם של גרינברגר ושובל (2016) שנועד לזהות ולאפיין את דפוסי הפעילות המרחביים והעיתיים של המבקרים ברמת הנדיב, שביעות הרצון והמוטיבציות לביקור, לטובת שיפור השירות, הכוונת הממשק והתכנון והעצמת חוויית הביקור. המחקר התבצע באמצעות נוטני GPS, שאלונים ו-Senso-Meter – יישומון לטלפון הנייד המציג שאלונים מבוססי מיקום במהלך

ג. אוכלוסיית הצבאים ברמת הנדיב: ניטור ארוך טווח, מחקר ואקטיביזם סביבתי

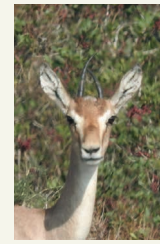
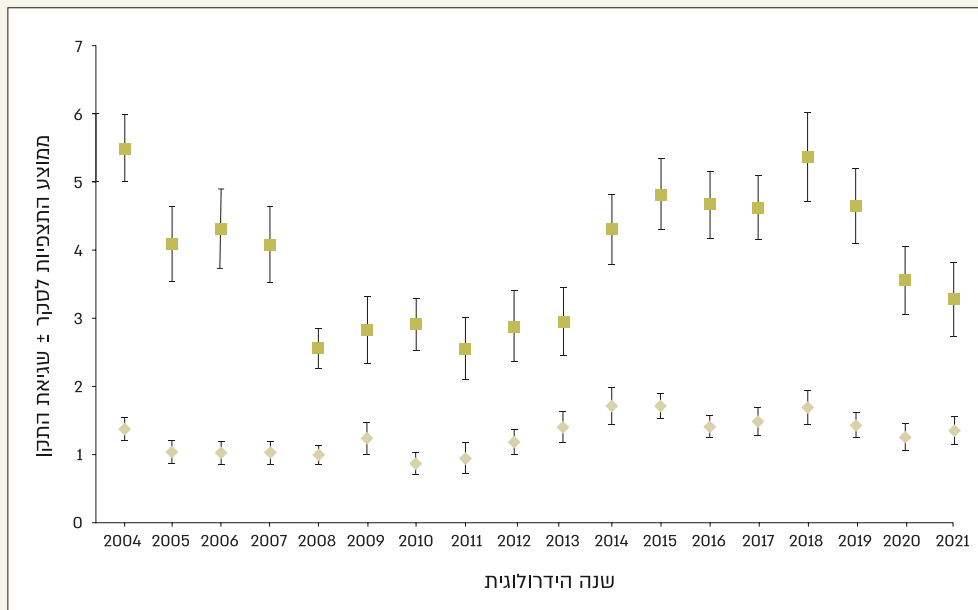
הצבי הישראלי (איור 5, *Gazella gazella*) הוא יונק גדול ואטרקטיבי, "מין דגל" אהוב ברמת הנדיב, ואחד ממיני הבר המזוהים ביותר עם הטבע הישראלי. לצד העובדה שישראל היא המקום היחיד בעולם ששרדה בו אוכלוסייה משמעותית של המין, ושלצבי תפקיד חשוב במגוון מערכות אקולוגיות, קיימת מגמת ירידה בגודל האוכלוסיות בישראל בעשורים האחרונים, בעיקר עקב אובדן בתי גידול וקטוע של תת-אוכלוסיות בשטחים מצומצמים. לפיכך, המין נתון בסכנת הכחדה. במטרה לעקוב אחר שינויים בזמן בגודל האוכלוסייה ברמת הנדיב ובהרכבה החל בנובמבר 2003 ניטור ארוך טווח שלה. הנתונים נאספים לאורך השנה באמצעות תצפיות ישירות בחתך רכוב (כ-12.5 ק"מ), המכסה את מרבית שטח הפארק ומייצג את מגוון הגורמים שיכולים להשפיע על פיזור האוכלוסייה, כגון גובה, מפנה, שיפוע, טיפוס צומח, ממשק רעייה, שימושי קרקע וקרבה לכבישים ולבינוי. הסקר מתבצע פעמיים בבוקר ופעמיים בערב בכל חודש. ניתוח הנתונים התבצע בהדרגה בשלוש נקודות בזמן: 2009, 2015, 2021.

התוצאות מראות כי לאחר התאוששות אוכלוסיית הצבאים בשנים 2012–2015, נשמרה מספר שנים יציבות יחסית בגודלה, אך החל מ-2018 החלה ירידה קבועה (איור 6). נתונים אחרים שבידינו, בין השאר מסקרי דריסות שהתבצעו במסגרת תוכנית הניטור, רומזים על הקשר לעלייה בצפיפות התנים בפארק. לצד המשך הפעלת הסקר יזמנו מחקר מעמיק לאפיון אוכלוסיית הצבאים וללימוד של הגורמים המגבילים אותה, תוך שימוש בשיטות מתקדמות. כדי לתמוך בגנטיקה של האוכלוסייה שחררנו במקביל בפארק מספר פרטים מעמק הצבאים ומחי-בר כרמל,

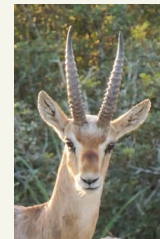


איור 5

צבי ישראלי בפארק הטבע ברמת הנדיב
ינואר 2020. צילום: אמיר ארנון.



נקבות וצעירים



זכרים

איור 6

ניטור צבאים ברמת הנדיב – ממוצע תצפיות לסקר 2004–2021

ביצוע הסקר וניתוח הנתונים: אמיר ארנון.

ומומלץ שיהיה גם חיבור דרך חוויה רגשית-חושית, כמו האזנה לקולות בעלי חיים, הליכה ברגליים יחפות, גירוי ריח וכדומה.

לסיכום: במהלך 20 השנים שחלפו מאז הקמת תוכנית הניטור, הורחבו שדות המחקר באתר ממחקרים שהתמקדו במערכת האקולוגית ללא גורם האדם (או שהאדם מהווה בה גורם מתערב ומשפיע), לכיוון מחקרים שמתמקדים באדם כחלק מהמערכת הטבעית או כיחידה נחקרת בפני עצמה, כולל מערכת התפיסות, ההעדפות ודרכי השימוש שלו בשטחים הטבעיים, ומבלי לזנוח את נושאי המחקר הקודמים. אנחנו מנסים לטפל בנושא חדשני זה בראש פתוח ומתוך מבט הוליסטי יותר.

תודות

ברצוננו להודות לעשרות חוקרים, סטודנטים ועוזרי מחקר שאספו, עיבדו וניתחו את הנתונים לאורך 20 שנות התוכנית. מנחם אדר ניטר בנאמנות את העופות ברמת הנדיב לאורך 20 שנה; אמיר ארנון מבצע את ספירות הצבאים והחוגלות משנת 2012; רעיה רודיך מנטרת את הפנולוגיה של הפריחה משנת 2014. תודה מיוחדת לד"ר יעל נבון על אין-ספור שעות עבודה מסורה בשדה ובמשרד, ועל השותפות לדרך.

הביקור כדי לאפיין תחושות רגשיות. המחקר מצא מאפיינים של שלוש אוכלוסיות שרמות הידע ודפוסי הביקור שלהן שונים. הממצאים מעידים שרמת הנדיב מתפקדת עבור שלוש מטרות שונות: אטרקציה תיירותית לאומית, פארק אזורי לפעילות חברתית וחצר אחורית ליישובים הסמוכים המשמשת בעיקר לפעילויות ספורט שונות. עוד נמצא כי רמת שביעות הרצון הכללית וכן בכל היבט שנבדק, הייתה גבוהה מאוד. מבסיס הידע שנוצר עלו תובנות ניהוליות ואופרטיביות (Grinberger, 2019), והן הולידו מחקרי המשך שהתמקדו באפיון חוויית הטבע והקשר לטבע, המוטיבציות לביקור והשלומות (wellbeing), וביקשו להעצים את חוויית הטבע בשיטות מעולם הניהול (Colléony et al., 2020) ולחזק את הזהות המקומית באמצעות מדע אזרחי וגששות (בן דוד, בהכנה). השוואת הקשר לטבע, השלומות והמוטיבציות לביקור ברמת הנדיב נעשתה גם לפני סגרי הקורונה וגם אחריהם (Colléony, 2021). נמצא, למשל, כי בעוד המוטיבציות החברתיות, הלמידה והריגוש ירדו בתקופת הקורונה, "רגיעה" נשארה יציבה לאורך כל התקופה. כמו כן, רוב המדדים שבחרנו הראו עקביות בין סקרים ובזמן, ומהווים אינדיקטורים להערכה וליטור של חוויית הביקור בטווח הארוך. מחקר נוסף (בלוך, 2023) בחן בדרך ניסויית שורת מדדים לתחושה, לשלומות ולקשר לטבע. נמצא שכדי לחזק את מגוון האינטראקציות של המבקר עם הטבע לא מספיק להתערב בצורה קוגניטיבית-אינפורמטיבית בלבד,

מקורות

- Haberl H, Winiwarter V, Andersson K, Ayres R, Boone C, Castillo A, et al. 2006. From LTER to LTSE: Conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. *Ecology and Society*, 11(2), 13.
- Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, et al. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12(10), e0185809.
- Haney A and Power RL. 1996. Adaptive management for sound ecosystem management. *Environmental Management*, 20(6), 879–886.
- Mirtl M, Orenstein DE, Wildenberg M, Peterseil J, and Frenzel M. 2013. Development of LTSE Platforms in LTER-Europe: Challenges and experiences in implementing place-based long-term socioecological research in selected regions. In: Singh SJ, Haberl H, Chertow M, Mirtl M, and Schmid M (Eds). *Long Term Socio-Ecological Research*. Dordrecht: Springer. pp. 409–442
- Mitchell M, Lockwood M, Moore SA, and Clement S. 2016. Building systems-based scenario narratives for novel biodiversity futures in an agricultural landscape. *Landscape and Urban Planning*, 145, 45–56.
- Oakley KL, Thomas LP, and Fancy SG. 2003. Guidelines for long-term monitoring protocols. *Wildlife Society Bulletin*, 31(4), 1000–1003.
- Orenstein DE and Groner E. 2015. Using the Ecosystem Services Framework in a Long-Term Socio-Ecological Research (LTSE) Platform: Lessons from the Wadi Araba Desert, Israel and Jordan. In: Rozzi R, Callicott JB, Pickett STA, Power ME, Armesto JJ, May Jr RH, et al. (Eds). *Earth Stewardship: Linking Ecology and Ethics in Theory and Practice*. Springer International Publishing. pp. 281–296.
- Pilotto F, Kühn I, Adrian R, Alber R, Alignier A, Andrews C, et al. 2020. Meta-analysis of multidecadal biodiversity trends in Europe. *Nature Communications*, 11(1), 3486.
- Ramat Hanadiv. n.d. Ramat Hanadiv Maps and Apps. website: <http://ramathanadiv.maps.arcgis.com/home/index.html>
- Rennie S, Andrews C, Atkinson S, Beaumont D, Benham S, Bowmaker V, et al. 2020. The UK Environmental Change Network datasets – Integrated and co-located data for long-term environmental research (1993–2015). *Earth System Science Data*, 12(1), 87–107.
- Singh SJ, Haberl H, Chertow M, Mirtl M, and Schmid M. 2013. *Long Term Socio-Ecological Research – Studies in Society-Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales*. Chapter 1: Introduction. Springer Media Dordrecht. pp. 1–28.
- Wu J and Hobbs R. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, 17, 355–365.
- אדר מ. 2013. הדינמיקה של אוכלוסיות העופות המקננים ברמת הנדיב: השפעותיהם של בית הגידול, פעולות האדם ושינויים אזוריים. בתוך: פרבולצקי א (עורך). **ממשק ושימור האקוסיסטמה היים-תיכונית: רמת הנדיב כמשל**. זכרון יעקב. עמ' 116–127.
- בלוך א. 2023. **חיזוק חווית הטבע של המבקר בפארק הנדיב על ידי התערבות עיצובית**. דו"ח פנימי, רמת הנדיב.
- בן דוד, א. 774 תאריך. **מדע אזרחי והעצמה קהילתית** (עבודה לקבלת תואר דוקטור, בהכנה).
- בן צבי ג. 2023. **מלכות מלייז**. תקציר ממצאים שהוגש לרמת הנדיב (דו"ח פנימי).
- פינרוב א. 2202. **צמצום נוכחות המיניה המצויה (*Acridotheres tristis*) בשטחים מוגנים** (עבודת גמר לתואר מוסמך). תל אביב: אוניברסיטת תל אביב.
- פרבולצקי א. 2013. **ממשק ושימור האקוסיסטמה היים-תיכונית: רמת הנדיב כמשל**. זכרון יעקב.
- Baker KS, Benson BJ, Henshaw DL, Blodgett D, Porter JH, and Stafford SG. 2000. Evolution of a multisite network information system: The LTER information management paradigm. *BioScience*, 50(11): 963–978.
- Bíl M, Andrášik R, Čícha V, Arnon A, Kruuse M, Langbein J, et al. 2021. COVID-19 related travel restrictions prevented numerous wildlife deaths on roads: A comparative analysis of results from 11 countries. *Biological Conservation*, 256, 109076.
- Colléony A. 2021. *Comparisons surveys of visitors of Ramat Hanadiv across time 2018–2020*. Report submitted to Ramat Hanadiv.
- Colléony A and Shwartz A. 2020. When the winners are the losers: Invasive alien bird species outcompete the native winners in the biotic homogenization process. *Biological Conservation*, 241, 108314.
- Colléony A, Levontin L, and Shwartz A. 2020. Promoting meaningful and positive nature interactions for visitors to green spaces. *Conservation Biology*, 34(6), 1373–1382.
- Collins SL, Carpenter SR, Swinton SM, Orenstein DE, Childers DL, Gragson TL, et al. 2011. An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 351–357.
- FAO and Plan Bleu. 2018. State of Mediterranean Forests 2018. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome and Plan Bleu, Marseille.
- Grinberger AY. 2019. Weighting the effects of spatial cognition and activity anchors on time–space activity. *The Professional Geographer*, 71(1), 52–64.
- Haase P, Frenzel M, Klotz S, Musche M, and Stoll S. 2016. The long-term ecological research (LTER) network: Relevance, current status, future perspective and examples from marine, freshwater and terrestrial long-term observation. *Ecological Indicators*, 100(65), 1–3.



רעייה בפארק הטבע, דצמבר 2011
צילום: שגיא שגיב



ניטור עשבוניים בפארק הטבע, מרץ 2022
צילום: רוני קיסרי



ניטור ארוך טווח של מרעה עשבוני בחוות כרי דשא וממשק גידול בקר בישראל

זלמן הנקין | נטע גולדנברג אגיון | חיים גורליק | גיא דוברת *

המחלקה למשאבי טבע, מרכז מחקר נווה יער, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
dovrat@volcani.agri.gov.il *

תקציר

נמצא יתרון באיכות המרעית לאורך עונת הצימוח בממשק של רעייה מוקדמת ובצפיפות אכלוס גבוהה. תופעה זו מוסברת על ידי עידוד ההתחדשויות הצעירות של הצומח בעקבות אכילתו המוגברת. המשך הקיום של מיני דגניים גבוהים ומינים איכותיים אחרים בממשק של רעייה ארוכת טווח ואי-פגיעה ביצרנות הצומח בצפיפויות רעייה גבוהות מחזקים את ההשערה כי הצומח העשבוני הים תיכוני עמיד ויציב גם בתנאי הרעייה הנמשכים זה אלפי שנים.

הרעייה בשטחים הפתוחים מהווה בסיס לייצור חקלאי ובו בזמן אמצעי לשמירה על השטח והנוף. במחקר ארוך טווח שנערך כבר 29 שנה ומתבצע בתחנת LTER כרי דשא בגליל המזרחי, מנוטר הצומח במשטרים שונים של רעיית בקר. כמו כן, נבחנות יצרנות עדרי הבקר וקיימות משטרי הרעייה. שטח מחקר ה-LTER משתרע על פני כ-2,300 דונם המנוטרים מדי שנה במועדים קבועים. בתחנה שמונה חלקות ניסוי, ונערכים בהן טיפולי רעייה שונים. עדרי הניסוי מונים כ-190 פרות הרועות באתר מהאביב ועד תחילת החורף, בצפיפויות אכלוס שונות של הפרות (גבוהה ומתונה) ובממשקי רעייה שונים (רעייה רציפה ורעייה מפוצלת). בצפיפות האכלוס הגבוהה נמצאה ירידה של 43% בכמות הצומח בשטח (בסוף אפריל) ביחס לחלקות הביקורת בשני ממשקי הרעייה. הביומסה העשבונית בממשק הרעייה המפוצלת בצפיפות האכלוס הגבוהה הייתה גבוהה יותר מאשר ברעייה הרציפה בצפיפות הגבוהה. מגוון מיני הצומח היה דומה בכל טיפולי הרעייה. כמו כן, תועדו ירידה בכיסוי מיני הדגניים הגבוהים בצפיפויות רעייה גבוהות, ובמקביל עלייה בכיסוי מינים בעלי ערך תזונתי נמוך, כמו מיני מורכבים חד-שנתיים ורב-שנתיים, מצליבים ודגניים נמוכים. נוסף על כך,

מילות מפתח

ביומסה צמחית, יצרנות מרעית, מגוון המינים, מזון משלים, רעייה מפוצלת, רעייה רציפה

מבוא

עדרים על פני שטחים נרחבים אינו פשוט, היות שהוא מושפע מגורמי אקלים המשתנים בין השנים ובמהלכן. בין הגורמים האלה נכללים כמות הגשם ופיזורו השנתי, טמפרטורה ולחות, וגורמים פיזיים וביולוגיים, כגון הרכב הצומח ומגוון בתי הגידול בשטחי המרעה, הטופוגרפיה, כיסוי הסלע, עומק הקרקע וזמינות חומרי ההזנה (Seligman and van Keulen, 1989; Burke et al., 1997; Leriche et al., 2001; Augustine, 2003; Golodets et al., 2013). קיום ממשק רעייה מיטבי בתנאים אלה תלוי לא רק ברמת היצרנות של המרעה ובתוספות המזון המשלים הניתנות לבעלי החיים, אלא גם בתגובת הצומח ובעלי החיים לצפיפויות אכלוס שונות ולעיתוי הרעייה (Heitschmidt et al., 1987; Gutman et al., 1990a, 1990b).

ככלל, כמות המרעית הזמינה בשטח יורדת עם העלייה בלחץ הרעייה (Hooper and Heady, 1970; Rosiere, 1987; Baron et al., 2002). השינוי בעומד הצומח תלוי בשיווי המשקל המתקיים בין קצב גידול הצומח לקצב צריכתו על ידי בעלי החיים. רעייה חזקה בתחילת עונת הצימוח עלולה לעכב את גידולו של הצומח ולגרום לקיבועו בנקודת שיווי משקל נמוכה. רעייה מסוג זה רחוקה מלספק את צורכי הקיום של בעלי החיים (Noy-Meir, 1975). השחיית הרעייה בתחילת עונת הצימוח יכולה למנוע נפילה לנקודת שיווי משקל זו (Gutman et al., 1999). יצרנות העדר תלויה בניצול מרבי של המרעית כאשר איכותה היא הגבוהה ביותר, ולכן השאיפה היא להגביר את הרעייה בעונת הצימוח הקצרה העומדת לרשות העדר. מחקרים קודמים תומכים בגישה זו, הכוללת השויה קצרה בתחילת העונה, לאחר שהראו כי במרעה הים תיכוני המאפיין את אזורנו, ניתן לקיים עדר במרעה בצפיפויות גבוהות מבלי לפגוע בהמשך היצרנות שלו (Gutman et al., 1999).

נמצא כי בשטחי מרעה שיצרנות הצומח בהם בינונית עד גבוהה, הרעייה תרמה לעלייה במגוון המינים. עם הפחתת צפיפות המינים הדומיננטיים והגדולים על ידי הרעייה (Hartnett et al., 1996; Schultz et al., 2011; Bakker et al., 2003), ובעקבותיה עלתה רמת השוויוניות בחברת הצומח (היחס בין הטרונגיות לעושר המינים, evenness). מכאן, שממשק רעייה יכול לשמש כלי לקיום מגוון ביולוגי עשיר יותר בבתי הגידול היצרניים. התחדשות הצומח העשבוני לאורך אלפי שנים באזור הים התיכון, שהושפע מתנאי רעייה ואקלים משתנים, מעידה על כך שצומח זה עמיד לתנאי הגידול הללו (Perevolotsky and Seligman, 1998). יתרה מכך, הרכב הצומח נשאר יציב גם כאשר תנודות האקלים היו חזקות, וכן כשנרשמו שינויים בצפיפויות האכלוס ובעיתוי הרעייה. ההשפעות של רעייה חזקה על הרכב הצומח נחקרו בכרי דשא והוצגו בהיבט קצר טווח של ארבע שנים (Sternberg et al., 2000) ובהיבט ארוך טווח של 17 שנים

המרעה הטבעי המוסדר בצפון הארץ מנוצל בעיקר לעדרי בקר לבשר. לענף הבקר במרעה יתרונות משמעותיים בשטחים הפתוחים שאינם ניתנים לעיבוד, בעיקר באותם שטחים המאופיינים בצומח עשבוני עשיר, כמו בגליל המזרחי ובגולן. נוסף על ייצור חקלאי ושמירה על השטחים הפתוחים, ניתן למנות יתרונות נוספים של הרעייה, ובהם שמירה על מגוון המינים והנוף וצמצום סכנת השרפות והיקפן.

למרות חשיבות הענף כאמצעי ראשון לניהול השטחים הפתוחים במדינה, עדר הבקר לבשר בארץ פועל ברמת ייצור נמוכה מהפוטנציאל המשוער, ויעילות הייצור לאורך הזמן נמצאת במגמת ירידה (אונגר ושות', 2005, 2006). הסיבות העיקריות לכך הן ממשק גידול לא מיטבי, בעיות וטרינריות קשות, טריפות של עגלים וגניבות. ירידה זו פוגעת משמעותית בשיעור הגמילה (יחס עגלים גמולים לאימהות) וגורמת לירידה ברווחיות המגדלים. בתוכנית מחקר אינטגרטיבית, המתבצעת בחוות כרי דשא משנת 1994 ועד היום (29 שנה), נבחנת השפעת הרעייה על הרכב הצומח, על היצרנות ועל איכות המרעית, וכן נבחנת יצרנות בעלי החיים בממשקי רעייה שונים (Henkin et al., 2015).

בעדרי בקר באזורי החבל הים תיכוני נקבעו בעבר צפיפויות האכלוס וממשקי הרעייה באופן אינטואיטיבי, על סמך ניסיונו המקצועי של המגדל. שיטה זו הייתה נכונה לבחירת הממשק המתאים כל עוד צפיפויות האכלוס אפשרו את קיומם של בעלי החיים בשטח לאורך כל השנה. כיום לא ניתן להתבסס כלכלית על מערכות ייצור מסורתיות מעין אלה (Holochek et al., 1998), ולעיתים סיבות כלכליות וממשקיות מצריכות להעלות משמעותית את צפיפויות האכלוס ביחס לאלה שהיו נהוגות בעבר. אופן קביעת ממשק הרעייה המיטבי כיום מורכב, ויש חשיבות רבה למחקר מקיף ומבוקר לבדיקת הגורמים השונים המשפיעים על ההחלטות הממשקיות (Lodge and Johnson, 2008). לעלייה בצפיפות הבקר במרעה יש השלכות: השפעת בעלי החיים על הצומח נעשית משמעותית יותר, נדרשת תוספת גבוהה יותר של מזון משלים, והעלויות הכספיות גבוהות יותר. כל אלה מחייבות התייחסות ממשקית מתאימה (Macleod and McIntyre, 1997; Fynn and O'Conner, 2000).

באזור האגן המזרחי של הים התיכון, באזורים שעיקר המרעה העשבוני בהם הוא מינים חד-שנתיים, המחזור העונתי של הצומח מאופיין בעונת גידול קצרה בתקופת החורף ובתחילת האביב (ינואר עד אפריל או מאי), ואילו הקיץ והסתיו שחונים וחמים (Seligman, 1996). כושר הנשיאה של בעלי החיים בשטח נקבע בהתאם לייצור הראשוני של הצומח העשבוני, אבל כימות ערך זה לקיום

סקרי צומח בשיטת (Step point and Mueller-Dombois) בוצעו לאורך חתכים קבועים בחלקות הניסוי (איור 1) מדי שנה באופן רציף. הסקרים בוצעו בשיא עונת הצימוח באביב (סוף מרץ-אפריל). בכל נקודה לאורך החתך, במרחק של צעד כפול מנקודה אחת לשנייה, נרשמו מיני הצומח שמוט שמוצב אנכית לקרקע נוגע בהם, לפי סדר הופעתם. לחלופין, צוינו באותה נקודה פגיעות בקרקע או בסלע אם השטח היה חשוף. מיני הצומח נרשמו בעת ביצוע החתך, ומיינו ל-12 קבוצות תפקודיות שונות בהתאם לתכונות הצמח, למחזור החיים, לגובהם היחסי ולהשתייכותם לסוגים ולמשפחות. כמו כן, חושב שיעור הכיסוי הממוצע של כל אחד מן המינים שהוגדרו בשטח (כ-200 מינים).

תוצאות

ממשק הרעייה

סך ימי השימוש של הבקר בחלקות שצפיפות האכלוס בהן הייתה גבוהה, היה נמוך ב-65 יום בשנה בממוצע

(Sternberg et al., 2015) ושל 19 שנים (Henkin et al., 2015) מבחינת הייצור הראשוני של הצומח. המאמר הנוכחי סוקר מדדים מרכזיים בניטור ארוך הטווח של הצומח ועדרי הבקר בכרי דשא, ובתוך כך את השפעת ממשק הרעייה ותנאי השטח המשתנים על מרכיבי הצומח.

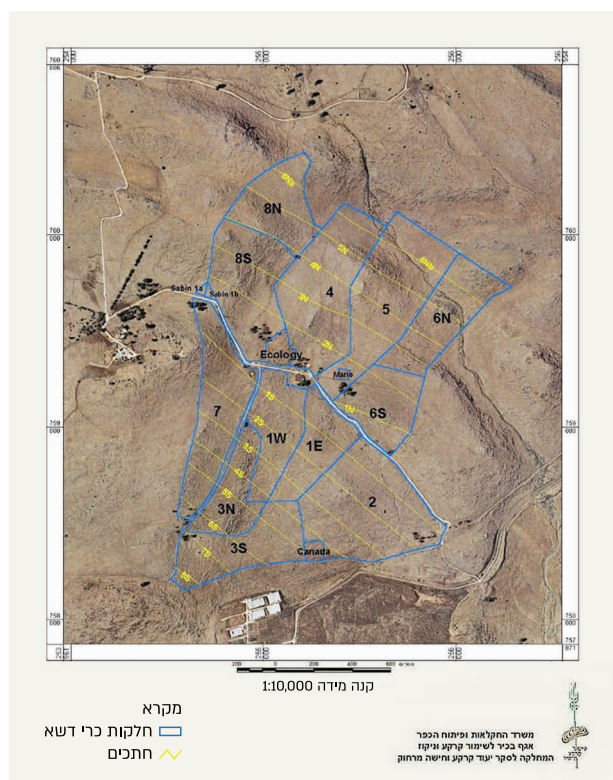
שיטות וחומרים

אתר המחקר ומערך הניסוי

המחקר בוצע בשנים 1994–2022 בחוות כרי דשא, הממוקמת ברמת כורזים שבגליל המזרחי (556 מ"מ גשם בשנה בממוצע). שטחה הכולל של החווה הוא כ-14,500 דונם. שטחן הכולל של חלקות המחקר הוא 2,300 דונם. הצומח מאופיין, כבתה עשבונית רב-שנתית (Zohary, 1973). עדר הניסוי מונה כ-190 פרות ומחולק לשמונה קבוצות בטיפולי רעייה שונים. טיפולי הרעייה כללו שתי צפיפויות אכלוס – 18 דונם לפרה (M, מתונה) ו-9 דונם לפרה (H, גבוהה), ושני ממשקים: רעייה רציפה (C) ורעייה מפוצלת (S), עם שתי חזרות לכל אחד מן הטיפולים. חלקות הרעייה המפוצלת חולקו לשתי תת-חלקות זהות בשטחן, והמעבר בין החלקות התבצע לאחר שכמות הצומח בתת-החלקה המוקדמת (E) הייתה נמוכה מלספק את צורכי הפרות (לאחר כ-45 ימי רעייה בחלקות הצפיפות הגבוהה וכ-90 ימי רעייה בצפיפות המתונה). גם לאחר העברת הפרות לחלקת הרעייה המאוחרת, בעונת היובש, עדיין הייתה גישה לחלקה המוקדמת בחלקות הרעייה המפוצלת, שהצפיפות בהן הייתה גבוהה (H). רעייה במחצית השטח יצרה צפיפות אכלוס זמנית גבוהה מאוד של 4.5 דונם לפרה. ממשק החלקות המפוצלות התבצע עד שנת 2019. משקל הפרות והוולדות נמדד שלוש פעמים בשנה. שיעור ההיריון של הפרות שנחשפו לפרים חושב לאחר בדיקות היריון או התעברות שבוצעו בספטמבר. המערך הבסיסי של הניסוי לא שונה מאז העמדתו ב-1994 כדי לאפשר ניתוח ארוך טווח של מרכיבי הצומח לאורך השנים ותנאי האקלים המשתנים.

ניטור הצומח

דגימת הביומסה העשבונית בחלקות הניסוי בוצעה מדי שנה מאז 1994 לאורך חתכים קבועים, וכללה 20 קצירים מייצגים בכל חלקה בכל מועד דגימה (סך הכול 280 דגימות בכל סקר). הדגימה התבצעה על ידי הסרת הצומח מעל גובה פני הקרקע בשטח התחום במסגרות ברזל (25×25 ס"מ) באופן אקראי לאורך חתכים קבועים (איור 1). הדגימה בוצעה ארבע פעמים בשנה בכל אחת מעונות הרעייה. לאחר הקציר יובשו דגימות הצומח בטמפרטורה של 65 מעלות צלזיוס במשך 48 שעות ונשקלו.



איור 1

מפת חלקות הניסוי בכרי דשא

בצהוב מסומנים החתכים הקבועים שלאורכם בוצעו סקרי הצומח מדי שנה מאז 1994. ממשקי הרעייה וצפיפויות הרעייה, כמו גם מערכי הניטור בכרי דשא, נשמרים לכל אורך שנות המחקר.

הצימוח היה 18 ± 157 ק"ג בלבד. בחלקות שהייתה בהן רעייה בצפיפות גבוהה (HC ו-HS) נראה כי הצומח העשבוני נוצל באופן נמרץ, וכבר ביוני היבול היה נמוך ביותר (איור 4) ולא סיפק את צורכי הבקר. לכן, בכל השנים הוגשה בחלקות הללו גם תוספת של קש כמזון משלים, מעבר לתוספת של זבל עופות.

בניתוח רב-שנתי (21 שנה) בשקלול נתוני הבימוסה העשבונית לאורך עונת הרעייה בשתי תת-החלקות (רעייה מוקדמת ומאוחרת) לטיפול אחד של רעייה מפוצלת, נמצא כי בצפיפות מתונה אין הבדל מובהק ביבול הצומח בשיא העונה הירוקה בין רעייה מפוצלת לבין רציפה. לעומת זאת, בצפיפות אכלוס גבוהה נמצא כי פיזור הרעייה לשתי חלקות משנה (עם רעייה מוקדמת ומאוחרת) תרם בסוף עונת הצימוח (אפריל) לתוספת משמעותית של כ-60 ק"ג חומר יבש לדונם בהשוואה לחלקה שהתקיימה בה רעייה רציפה (איור 4).

השפעת משטרי רעייה על הרכב הצומח

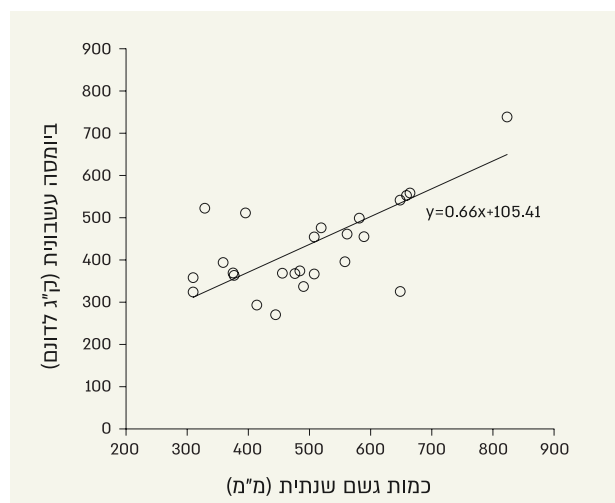
ניתוח סקרי הצומח שנערכו בשיא עונת הצימוח הראה כי שלושת המינים השולטים בכרי דשא הם דגניים: שעורת הבולבוסין (*Hordeum bulbosum*), שיבולת שועל נפוצה (*Avena sterilis*) וזנב שועל מצוי (*Alopecurus utriculatus*). מתוך יותר מ-200 מיני צמחים שהוגדרו בשטח, כ-21 מינים שכיחים מהווים 82% עד 90% מכלל הכיסוי הצמחי בחלקות המחקר. עושר מיני הצומח הנמוך ביותר נמצא בחלקות שהיו בטיפולי הרעייה המפוצלת (טבלה 1) ובביקורת (ללא רעייה). לא נמצא הבדל משמעותי בעושר המינים בין צפיפויות האכלוס השונות (MC ו-HC)

ביחס לחלקות שהיו בצפיפות אכלוס מתונה (205 לעומת 270). שיעור האכלוס השנתי (ימי רעייה לדונם) של הפרות בטיפולי הרעייה המתונה הסתכם בכ-15 ימי רעייה לדונם לשנה בממוצע, לעומת 21.4 ימי רעייה לדונם בממוצע בחלקות שהיו בצפיפות אכלוס גבוהה. למרות זאת, יחס שיעור האכלוס בין טיפולי הרעייה אינו כפול (למרות הצפיפות הכפולה) בעקבות הוצאה מוקדמת של הפרות בחלקות הרעייה בצפיפות גבוהה.

בבדיקת הקשר שבין כמות הגשם השנתית לבין משך תקופת הרעייה בפועל בטיפולים השונים, נמצא כי מרב ההשפעה על משך הרעייה בחלקות באה לידי ביטוי בטיפול הרעייה החזקה. בצפיפות האכלוס הגבוהה, ככל שכמות הגשם השנתית הייתה נמוכה יותר, כך התקצר משך הרעייה בחלקה (איור 2). ירידה בכמות הגשם כמעט ולא השפיעה על משך הרעייה בחלקות בעלות צפיפות אכלוס מתונה (18 דונם לפרה).

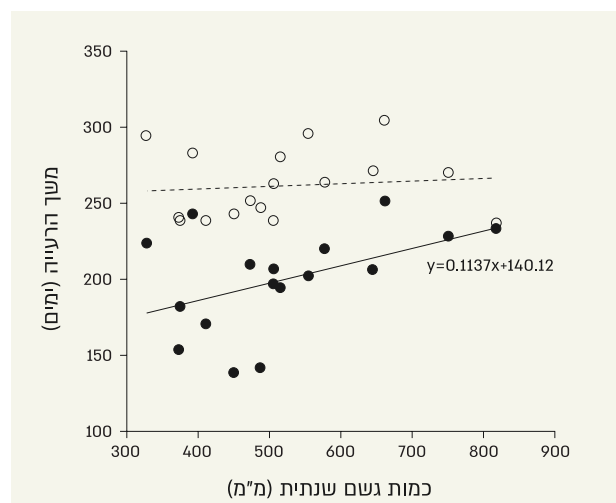
הקשר בין משטרי רעייה למדדי צומח

נמצא מתאם חיובי בין הבימוסה הצמחית בשיא העונה בחלקות ללא רעייה לבין כמות הגשם השנתית ($R^2=0.34$) (איור 3). בשנים גשומות נמצא כי הבימוסה הצמחית הייתה גבוהה יחסית ללא קשר לפיזור הגשמים לאורך העונה. ברעייה רציפה לאחר שהייה (תקופה ללא רעייה בתחילת עונת הצימוח) ובצפיפות מתונה (MC) יבול הצומח העשבוני הממוצע בשיא עונת הצימוח (כפי שנמדד בתחילת אפריל, ללא קוצים) על פני כל השנים היה 23 ± 272 ק"ג חומר יבש לדונם. לעומת זאת, בחלקות בטיפול צפיפות האכלוס הגבוהה (HC) נמצא כי יבול הצומח הממוצע בשיא עונת



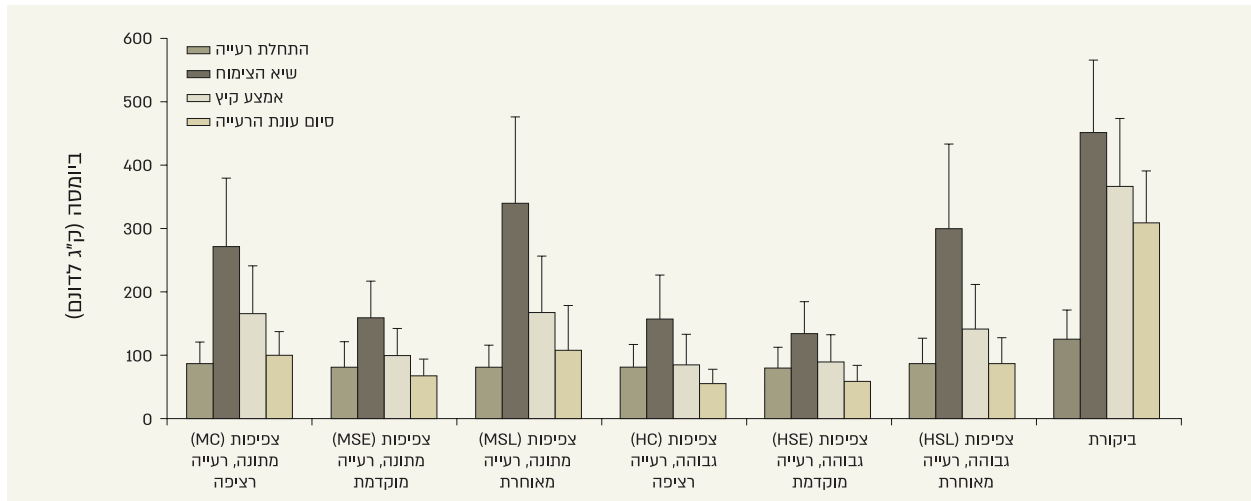
איור 3

הקשר שבין כמות הגשם השנתית בכרי דשא לבין יבול הצומח העשבוני בחלקות ללא רעייה בשנים 1994–2021



איור 2

הקשר שבין כמות הגשם השנתית לבין משך תקופת הרעייה הרעייה נבדקה בחלקות באותה שנה בטיפולי צפיפות האכלוס הגבוהה (HC, נקודות שחורות) והמתונה (MC, נקודות לבנות).



איור 4

יכול הצומח הממוצע בטיפול הרעייה השונים בכרי דשא במיצוע חלקות הרעייה המפוצלות

מועדי הדגימות: עם הכנסת העדר לחלקות (ינואר-פברואר), שיא עונת הצימוח (אפריל), אמצע הקיץ (יוני) ועם הוצאת הפרות מחלקות הניסוי (אוקטובר). טיפולי הרעייה הם: MC – צפיפות מתונה ברעייה מפוצלת, HC – צפיפות גבוהה ברעייה רציפה, HS – צפיפות גבוהה ברעייה מפוצלת. יכול הצומח ללא קוצים.

גבוהה של פרות, בממוצע יש 9 דונם לפרה), רעייה חזקה מאוד (צפיפות גבוהה מאוד של פרות, בממוצע יש 4.5 דונם לפרה) ורעייה רציפה חזקה. באותם טיפולים נמצאה עלייה בשיעור הכיסוי של דגניים חד-שנתיים נמוכים, של קוצים ושל רחבי-עלים, בעיקר מצליבים.

דיון

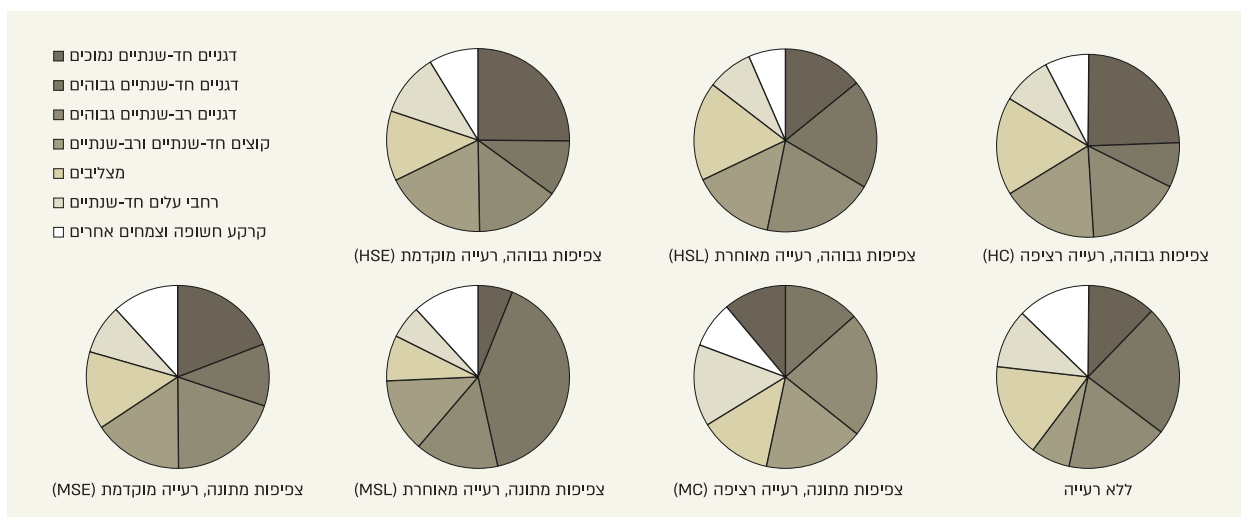
במחקר ארוך טווח המבוצע בחוות כרי דשא מאז 1994 ונמשך עד לימים אלה, נבדקה לאורך השנים השפעת הרעייה על הצומח במרעה. מערך המחקר ארוך הטווח בכרי דשא נבנה מתוך תפיסה אקולוגית מערכתית הגורסת שלרעיית הבקר ולאופן הניהול שלה יש תפקיד מרכזי בעיצוב הצומח ותנאי המרעה, וכי תנאי שטח המרעה משפיעים על יכולת ההתרבות המוצלחת של העדרים במרעה ועל יצרנותם. המחקר מתבסס על ידע קודם שנרכש במגוון ניסויים שבוצעו בעבר בכרי דשא, ושתוצאותיהם פורסמו בכתבי עת שונים בארץ ובעולם (למשל, Henkin et al., 2011; Henkin et al., 2015; Sternberg et al., 2015; Segev et al., 2022). מעבר לנתונים שנאספו במחקר ארוך הטווח, מערך הניסוי משמש גם בסיס מדעי למגוון רחב של מחקרים נוספים שנערכו בעבר ועדיין נערכים בחווה, ועוסקים במחקר ישומי ובמחקר בסיסי תאורטי. ההיכרות רבת השנים עם המערכת האקולוגית הנחקרת, על מכלולי התהליכים השונים שבה, מאפשרת את הצלחת מחקרים אלה.

ברעייה רציפה. מיני הצומח מיינו ל-12 קבוצות תפקודיות (פונקציונליות) שונות, והמינים בכל קבוצה חלקו תכונות דומות. כ-71.5% מכלל הכיסוי בקבוצות התפקודיות השונות הוא של מינים חד-שנתיים. כמו כן, כיסוי הדגניים בלבד (חד-שנתיים ורב-שנתיים) גבוה מ-50% מכלל הכיסוי הצמחי. מיון לפי טיפולי הרעייה השונים (איור 5) הראה כי אחוז הכיסוי של מיני הדגניים החד-שנתיים הגבוהים היה גבוה בחלקה ללא רעייה (ביקורת) ובחלקות הרעייה המתונה והמאוחרת. אחוז הכיסוי של קבוצת צומח זו היה נמוך משמעותית בטיפולים הבאים: רעייה מוקדמת, רעייה חזקה (צפיפות

הטיפול	עושר המינים הממוצע
MC	61.2±8.8
MSE	48.4±5.9
MSL	39.9±5.9
HC	57.1±3.7
HSE	44.9±4.7
HSL	43.5±4.0
ללא רעייה	41.2±6.2

טבלה 1

עושר המינים (מספר מיני הצומח) הממוצע (± סטיית התקן) בטיפול הרעייה השונים בכרי דשא
עושר המינים נקבע לפי מספר מיני הצומח, והממוצע מופיע עם סטיית התקן.



איור 5

שיעור הכיסוי הממוצע של קבוצות הצומח התפקודיות העיקריות בטיפול צפיפות האכלוס ובמשקי הרעייה השונים בכרי דשא

אחוז הכיסוי שלהם היה גבוה יחסית. אחוז הכיסוי של קבוצת צומח זו פחת בצורה ניכרת בממשקים של רעייה מוקדמת (E), רעייה בצפיפות גבוהה (H), רעייה מוקדמת בצפיפות גבוהה מאוד (HSE) ורעייה רציפה חזקה (HC). באותם הטיפולים נמצאה גם עלייה בשיעור הכיסוי היחסי של דגניים חד-שנתיים נמוכים ושל קוצים. כמו כן, נמצאה באותם הטיפולים גם עלייה בשיעור הכיסוי של רחבי-עלים, בעיקר מינים ממשפחת המצליבים. עם זאת, מעניין לראות כי גם בתנאים קיצוניים ביותר, של צפיפות רעייה גבוהה מאוד, נמצאו מינים השייכים לקבוצת הדגניים החד-שנתיים הגבוהים. שיעור הכיסוי שלהם עמד על 5% עד 10% מכלל הצומח, והם לא נעלמו לגמרי מן השטח. Golodets ושות' (2010) הראו, שבמערכות צומח בשליטה של דגניים (ובעיקר חד-שנתיים) שנתונות להיסטוריה ארוכת שנים של רעייה, יש פוטנציאל גבוה לשיקום הצומח לאחר שיפור התנאים. לכן, גם עם הכפלת צפיפות האכלוס פי ארבעה ביחס לטיפול הרעייה המתונה כמו בניסוי זה, לא ניתן לראות שינויים בלתי הפיכים בהרכב הצומח.

אחד הגורמים החשובים ביותר המשפיעים על הרכב הצומח במרעה הוא שחרור מתחרות על משאבים (בעיקר אור) (Segre et al., 2014). אכילה של מינים דומיננטיים מקטינה את ההשפעה שלהם על מינים אחרים, ועל ידי כך מגבירה את חשיבותם וגורמת לשינוי בהרכב חברת הצומח (Olf and Ritchie, 1998). בבתות ההמיקריפטופיטיות, המאפיינות את שטחי המרעה העשבוניים בגליל המזרחי ובגולן, המין היציב ביותר והשולט בשטחי המרעה הוא שעורת הבולבוסין. קיום הבולבוסין בתת-הקרקע ואגירה של חומרי התשמורת שהצמח מתחדש מהם, מאפשרים למין זה להיות משוחרר ולא תלוי בייצור הזרעים. תכונה

שינויים בהרכב הצומח בממשקי רעייה שונים
 תצורת הצומח המאפיינת את אזור הגליל המזרחי היא בתה המיקריפטופיטית, המאופיינת במינים עשבוניים רב-שנתיים המותאמים לרעייה. דומיננטיות גבוהה של דגניים גבוהים (שעורת הבולבוסין ושיבולת שועל מצויה) ונמוכים (זנב שועל מצוי [*Alopecurus utriculatus*] ועוקצר מצוי [*Brachypodium distachyon*]) נרשמה בכלל החלקות, ועיקר הכיסוי העשבוני נתרם ע"י 10% בלבד ממיני הצומח שתועדו בסקרים. מבין 29 המינים הנפוצים שהוגדרו בשטח המחקר בכרי דשא, ושיעור הכיסוי הממוצע שלהם על פני כל השנים גבוה מ-0.5%, נמצא כי ב-10 מהם נצפתה עלייה בשיעור כיסוי השטח (התגברות) בעקבות עלייה בצפיפות האכלוס, וב-12 מינים נצפתה הפחתה בשיעור הכיסוי (התמעטות) בעקבות עלייה בעוצמת הרעייה. מבין המינים האלה, ניתן לראות כי שיעור הכיסוי היחסי של שעורת התבור (*Hordeum spontaneum*), חיטת הבר (*Triticum dicoccoides*), שרעול שער (*Bituminaria bituminosa*) וצנן פגיוני (*Raphanus pugioniformis*) היה הגבוה ביותר בצפיפות רעייה מתונה (MC). כמו כן, בשבעה מינים נפוצים (הכוללים: קיפודן מצוי [*Echinops adenocaulos*], עוקצר מצוי, ברומית זנב שועל [*Bromus alopecuroides*], יבלית מצויה [*Cynodon dactylon*], חטוטרת מצוי [*Ochthodium aegyptiacum*], איסטיס מצוי [*Isatis lusitanica*] ועוכובית הגלגל [*Gundelia tournefortii*]) לא נמצא שינוי בעקבות העלייה בצפיפות האכלוס.

לשינויים השנתיים בכמות הגשם בכרי דשא הייתה השפעה מוגבלת על הרכב קבוצות הצומח (הנקין ושות', 2020). הרעייה הפחיתה את אחוז הכיסוי של דגניים חד-שנתיים גבוהים, ובחלקות הרעייה המתונה והמאוחרת (ולא רעייה)

מהחלקה לפני סיום עונת הצימוח והעברתן לחלקה אחרת שמתקיימת בה רעייה מאוחרת. לצפיפויות האכלוס הייתה גם השפעה משמעותית על יכול הצומח בעונת הקמל, ועם הגברת הצפיפות נמצאה ירידה ביבול, שהשפיעה באופן ישיר על משך שהות הפרות בחלקה. מכאן, שצפיפות האכלוס, משך עונת הרעייה והצורך בתוספת מזון משלים הם המשתנים החשובים לקבלת החלטות לגבי ממשקי הרעייה המיטביים בכל אתר (Hooper and Heady, 1970). הכמויות הנמוכות יחסית של הקמל שנשארו בסוף עונת הרעייה בחלקות בצפיפות הגבוהה, לא היוו בעיה לגבי התחדשות הצומח בשנה העוקבת. הכיסוי הנמוך השאריתי של הצומח (נשר) בשטח, והפחיתה בבנק הזרעים ובכושר הנביטה שלהם (Sternberg et al., 2003) לא מנעו את הנביטה ואת התחדשות המרעית בשנה העוקבת. כאמור, לא נמצאו הבדלים משמעותיים בייצור הצומח בין טיפולי הרעייה השונים עם תחילת עונת הרעייה הבאה, ולא נצפתה מגמת ירידה ביצרנות הצומח במועד זה לאורך השנים (Henkin et al., 2015).

בעבודה זו נמצא יתרון לרעייה מפוצלת לעומת רעייה רציפה כאשר צפיפות האכלוס גבוהה. בצפיפות רעייה של 9 דונם לפרה התקבל יבול גבוה יותר של צומח עשבוני על ידי פיצול החלקה לשניים. הדבר בא לידי ביטוי בעיקר בשיא עונת הצימוח (באפריל) בתוספת ממוצעת של כ-60 גרם חומר יבש למ"ר ביחס לרעייה רציפה בצפיפות דומה. יתרון זה נשמר במידה פחותה גם בהמשך עונת הרעייה, בקיץ.

ביצועי עדר הניסוי בכרי דשא

במחקרי עבר שבוצעו בכרי דשא נמצא יתרון ביצרנות הצומח ובתפוקות הבקר לקיום השהיה, כלומר תקופה ללא רעייה בתחילת עונת הצימוח, וזאת במטרה לאפשר לצומח הטבעי להתבסס (Gutman et al., 1999). תקופת השהיית הפרות מחוץ לחלקות הניסוי, מתחילת רדת הגשמים המשמעותיים הראשונים (כ-20 מ"מ) ועד להכנסתן לחלקות, נמשכה כ-90 יום. עם התחלת הרעייה בחלקות הניסוי, מאמצע ינואר ועד אמצע פברואר (בהתאם למצב הצומח באותה שנה), נמצא כי גם בצפיפות רעייה של 9 דונם לפרה ניתן היה לרעות בשטח ללא חוסר במרעית לכל אורך עונת הצימוח ואף יותר מכך. עם זאת, כאשר הוכפלה הצפיפות בטיפולי הרעייה המפוצלת המוקדמת ל-4.5 דונם לפרה (HSE), לא ניתן היה להחזיק את העדר למשך כל עונת הצימוח, והיה צורך להעביר את הפרות לחלקות הרעייה המאוחרת (HSL) (Henkin et al., 2015).

הממצאים התאימו למסגרת הקונספטואלית שהציע עמנואל נוי-מאיר (Noy-Meir, 1975): קו התפר בין הצטברות ביומסה בעונה הירוקה (למרות הרעייה) לבין "קריסת" המערכת לנקודת שיווי משקל בביומסה נמוכה נמצא בין 9 דונם לפרה ו-4.5 דונם לפרה, כפוף להשהיה. עם זאת,

זו מקנה לו פלסטיות פנוטיפית גבוהה, עמידות וכושר התחדשות גבוהים ויציבות מפני לחצי רעייה חזקים לאורך שנים. יכולתה הגבוהה של המין להתחדש עם רדת הגשמים הראשונים מדי שנה מקנה לו אפשרות לקיום בתנאים של צפיפות רעייה גבוהה, עמידות גבוהה מול כמויות הגשם המשתנות, ובעיקר כושר להתמודד עם כמויות לא מספקות של גשם בשנים שחונות (Henkin et al., 2015).

הצומח בתחנת המחקר ארוך הטווח מראה יציבות גבוהה במגוון תנאי רעייה (Ives and Carpenter, 2007), וגם עם הגברת צפיפות האכלוס במידה רבה לא נמצאה ירידה משמעותית בכיסוי שעורת הבולבוסי. כמו כן, לא נמצאו קבוצות תפקודיות שחסרו ונעלמו לחלוטין מהשטח. עם זאת, לחצי רעייה גבוהים הביאו לעלייה ביצרנות קוצים גדולים והפחיתו את הביומסה הנעכלת (Segev et al., 2022). תוצאות המחקר מדגישות את גמישות המערכת העשבונית הים תיכונית לשינויים שנתיים במשטרי הגשם, כמו גם לצפיפויות האכלוס ולעונתיות שלה. מכאן התמיכה בהנחה, שלמרות האי-ודאות בתנאי האקלים המשתנים ובמשטרי הרעייה, המערכת האקולוגית הים תיכונית, שהייתה נתונה להשפעות היסטוריות של רעייה, יציבה לאורך זמן (Carmona et al., 2012; Golodets et al., 2013; Shafran-Nathan et al., 2013).

יצרנות מרעית בממשקי רעייה שונים

מתוצאות הניסוי ניתן לראות כי יצרנות המרעית בכרי דשא גבוהה ביחס לאזורים רבים אחרים בארץ, וכי ללא רעייה (בחלקות הביקורת) היבול הממוצע בשיא הצימוח עומד על כ-450 גרם חומר יבש למ"ר. אף על פי שהנתונים אינם כוללים צומח לא נעכל (קוצים גדולים), קיים מתאם לינארי בין יצרנות הצומח לכמות הגשם השנתית: יבול הצומח גבוה יותר בשנים גשומות ונמוך יחסית בשנים שחונות. ההשפעות של כמות הגשם השנתית על היצרנות ובעיקר על איכות של המרעית בכרי דשא נסקרו לאחרונה בהרחבה (הנקין ושות', 2020). יבול הצומח הגבוה ביותר נמצא באמצע אפריל, בשיא עונת הצימוח. אך גם ללא רעייה, במשך תקופת היובש יש פחיתה ביבול המרעית המסתכמת בכ-40%. לכן, יש יתרון בניצול הצומח, עד כמה שניתן, בעודו ירוק. יש לציין, שסטיית התקן הממוצעת של היבול בכל הטיפולים בין השנים עומדת על כ-43%, אך למרות זאת, ההבדלים בין טיפולי הרעייה השונים נמצאו מובהקים לאורך השנים (Henkin et al., 2015).

נראה, כי ברעייה רציפה לאחר השהיה בצפיפויות של עד 9 דונם לפרה (אך לא בצפיפות גבוהה יותר), ניתן לקיים עדר על המרעית בלבד לכל אורך עונת הצימוח. הגברת הצפיפות מעבר לרמה זו בעייתית, ובצפיפות של 4.5 דונם לפרה קצב צריכת הצומח על ידי הפרות גבוה מקצב הצימוח של העשב (ראו גם Noy-Meir, 1975), ונדרשת הוצאת הפרות

ממשקי רעיית בקר על הצומח ועל יצרנות העדרים. מאמר זה סקר את ההשפעה המשולבת של צפיפות הרעייה (לחץ הרעייה) וממשק הרעייה העונתי (רציפה ומפוצלת) על יצרנות הצומח, על הרכב הצומח ועל ביצועי העדרים במרעה. תוצאות המחקר ארוך הטווח מדגישות את גמישות המערכת העשבונית הים תיכונית ואת עמידותה לשינויים שנתיים במשטרי הגשם ותנאי האקלים, כמו גם לצפיפויות הרעייה ולחלוקה העונתית שלה.

תודות

לצדוק כהן על ניהול חוות כרי דשא, על כל המורכבות שבה. ליהודה יהודה על ביצוע הקצירים, למיכאל לוריא ולרן לוטן על ביצוע סקרי הצומח לאורך שנות המחקר. לפרופ' אבי פרבולוצקי, ד"ר יאן לנדאו, ד"ר יוג'ין אונגר ופרופ' מרסלו שטרנברג על עבודת מחקר ענפה בחווה, ליענק'ה ורחמים דבוש על ניהול העדר, למרות כל הקשיים. למכון וולקני שאפשר מנהלית ותקציבית לקיים את המחקר ארוך הטווח הזה ולהביאו לפרסום.

ניתוח הנתונים לא מצא מגמת ירידה ביצרנות הצומח (לאורך שנים) בחלקות של 4.5 דונם לפרה, וזאת אף על פי שההיגיון אומר שהפעלת לחצי רעייה חזקים מאוד עלולה לפגוע בתפקוד המערכת (ירידה בכושר היצרנות) ולכן מומלץ להתרחק מגבולות אלה.

בעונת היובש, המאפיינת את אזור האקלים הים תיכוני, יש צורך בהוספת מזון מעבר למרעה הטבעי המצוי בגלל איכות נמוכה של הקמל, בעיקר מחסור בחלבון. כצפוי, נמצא כי בטיפול צפיפות האכלוס הגבוהה צריכת המזון המשלים היומית הייתה גבוהה ביחס לזו שנצרכה בחלקות טיפולי צפיפות האכלוס המתונה. הסיבה לכך היא כמות מרעית נמוכה יותר בצפיפות הגבוהה, שעדיין זמינה לבקר בסוף הקיץ. גם במקרה זה נמצא יתרון בקיום רעייה מפוצלת לעומת רציפה. כמות המזון המשלים היומית שהפרות צרכו בצפיפות האכלוס הגבוהה המפוצלת (HS) הייתה נמוכה ביחס לצריכת המזון המשלים של הפרות בחלקות בצפיפות דומה אך ברעייה רציפה (HC).

רעייה של בקר וצאן היא כלי ממשקי ראשון בניהול השטחים הפתוחים בישראל ובאזורים ים תיכוניים אחרים. המחקר בכרי דשא בוחן לאורך שנים את ההשפעות של

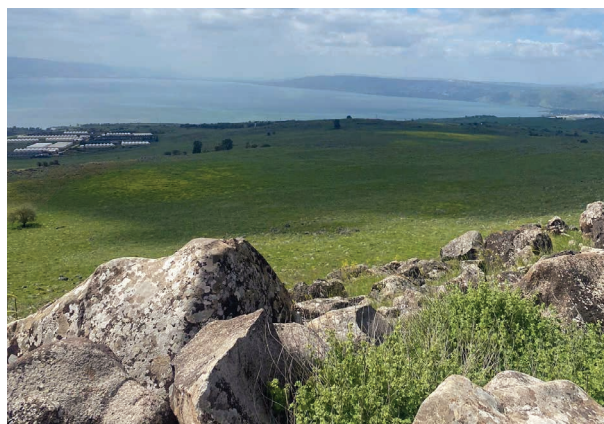
מקורות

- Ganskopp DC and Bohnert DW. 2009. Landscape nutritional patterns and cattle distribution in rangeland pastures. *Applied Animal Behaviour Science*, 116(2–4), 110–119.
- Gitay H and Noble IR. 1997. What are functional types and how should we seek them? In: Smith TM, Shugart HH, Woodward FI (Eds). *Plant Functional Types: Their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 3–19.
- Golodets C, Sternberg M, and Kigel J. 2010. Recovery of plant species composition and ecosystem function after cessation of grazing in a Mediterranean grassland. *Plant and Soil*, 329, 365–378.
- Golodets C, Sternberg M, Kigel J, Boeken B, Henkin Z, Seligman NG, et al. 2013. From desert to Mediterranean rangelands: Will increasing drought and inter-annual rainfall variability affect herbaceous annual primary production? *Climatic Change*, 119, 785–798.
- Gutman M and Seligman NG. 1979. Grazing management of Mediterranean foothill range in the upper Jordan River Valley. *Journal of Range Management*, 32(2), 86–92.
- Gutman M, Holzer Z, Seligman NG, and Noy-Meir I. 1990. Stocking density and production of a supplemented beef herd grazing yearlong on Mediterranean grassland. *Journal of Range Management*, 43(6), 535–599.
- Gutman M, Seligman NG, and Noy-Meir I. 1990. Herbage production of Mediterranean grassland under yearlong and seasonal grazing systems. *Journal of Range Management*, 43(1), 64–68.
- Gutman M, Holzer Z, Baram H, Noy-Meir I, and Seligman NG. 1999. Heavy stocking and early-season deferment of grazing on Mediterranean-type grassland. *Journal of Range Management*, 52, 590–539.
- אונגר י"ד, קרליבך י, יהודה י, ברעם ח וגוטמן מ. 2005. ניתוח רב שנתי של הייצור בעדר בקר לבשר במרעה ברמת הגולן: 2. אוכלוסיית הוולדות ויעילות הייצור. **ידיעות לבוקרים**, 113, 13–19.
- אונגר י"ד, גוטמן מ, כהן צ, ברעם ח, אהרון ח, דור סיני נ, שלוש ח, זליגמן נ. 2006. יעילות הייצור של עדר הבקר לבשר בחוות כרי דשא: סיכום של 15 שנה. **ידיעות לבוקרים**, 116, 11–18.
- הנקין ז, שטרנברג מ, פרבולוצקי א, גורליק ח, יהודה י, לנדאו י, דברת ג. 2020. מגמות שינוי בהרכב הצומח העשבוני, ביצרנות המרעית ובאיכותה על בסיס ניסוי ארוך-טווח בגליל המזרחי. **אקולוגיה וסביבה**, 11(2), 36–48.
- Augustine DJ. 2003. Spatial heterogeneity in herbaceous layer of semi-arid savanna ecosystem. *Plant Ecology*, 167(2), 319–332.
- Bakker C, Blair JM, and Knapp AK. 2003. Does resource availability, resource heterogeneity or species turnover mediate changes in plant species richness in grazed grasslands? *Oecologia*, 137, 385–391.
- Baron VS, Mapfumo E, Dick AC, Naeth MA, Okine EK, and Chanasyk DS. 2002. Grazing intensity impacts on pasture carbon and nitrogen flow. *Journal of Range Management*, 55, 535–541.
- Burke IC, Lauenroth WK, and Parton WJ. 1997. Regional and temporal variation in net primary production and nitrogen mineralization in grassland. *Ecology*, 78(5), 1330–1340.
- Carmona CP, Azcárate FM, de Bello F, Ollero HS, Lepš J, and Peco B. 2012. Taxonomical and functional diversity turnover in Mediterranean grasslands: interactions between grazing, habitat type and rainfall. *Journal of Applied Ecology*, 49, 1084–1093.
- Fynn RWS and O'Connor TG. 2000. Effect of stocking rate and rainfall on rangeland dynamics and cattle performance in a semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Applied Ecology*, 37, 491–507.

- Noy-Meir I. 1975. Stability of grazing systems: An application of predator-prey graphs. *Journal of Ecology*, 63(2), 459–481.
- Olf H and Ritchie ME. 1998. Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 13(7), 261–265.
- Perevolotsky A and Seligman NG. 1998. Role of grazing in Mediterranean rangeland ecosystems. *BioScience*, 48(12), 1007–1017.
- Rosiere RE. 1987. An evaluation of grazing intensity influences on California annual range. *Journal of Range Management*, 40(2), 160–165.
- Schultz NL, Morgan JW, and Lunt ID. 2011. Effects of grazing exclusion on plant species richness and phytomass accumulation vary across a regional productivity gradient. *Journal of Vegetation Science*, 22, 130–142.
- Segev O, Golodets C, Henkin Z, Gorelik H, and Dovrat G. 2022. Long-term proliferation of large annual thistles in dry Mediterranean rangelands. *Ecosphere*, 13(12), e4340.
- Segre H, Ron R, De-Malach N, Henkin Z, Mandel M, and Kadmon R. 2014. Competitive exclusion, beta diversity, and deterministic vs. stochastic drivers of community assembly. *Ecology Letters*, 17, 1400–1408.
- Seligman NG. 1996. Management of Mediterranean grasslands. In: Hodgson J and Illius AW (Eds). *The Ecology and Management of Grazing Systems*. Wallingford, Oxon., UK: CAB International. pp. 359–391.
- Seligman NG and van Keulen H. 1989. Herbage production of a Mediterranean grassland in relation to soil depth, rainfall and nitrogen nutrition: A simulation study. *Ecological Modelling*, 47(3–4), 303–311.
- Shafan-Nathan R, Svoray T, and Perevolotsky A. 2013. The resilience of annual vegetation primary production subjected to different climate change scenarios. *Climatic Change*, 118, 227–243.
- Sternberg M, Gutman M, Perevolotsky A, Ungar ED, and Kigel J. 2000. Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: A functional group approach. *Journal of Applied Ecology*, 37, 1–15.
- Sternberg M, Gutman M, Perevolotsky A, and Kigel J. 2003. Effects of grazing on soil seed bank dynamics: An approach with functional groups. *Journal of Vegetation Science*, 14, 375–386.
- Sternberg M, Golodets C, Gutman M, Perevolotsky A, Ungar ED, Kigel J, et al. 2015. Testing the limits of resistance: A 19-yr study of Mediterranean grassland response to grazing regimes. *Global Change Biology*, 21, 1939–1950.
- Zohary M. 1973. *Geobotanical Foundations of the Middle East*. Stuttgart, Germany: Gustav Fischer Verlag; and Amsterdam, the Netherlands: Swets and Zeitlinger.
- Hartnett DC, Hickman KR, and Fischer WLE. 1996. Effects of bison grazing, fire, and topography on floristic diversity in tallgrass prairie. *Journal of Range Management*, 49, 413–420.
- Heitschmidt RK, Dowhower SL, and Walker JW. 1987. Some effects of a rotational grazing treatment on quantity and quality of available forage and amount of ground litter. *Journal of Range Management*, 40(4), 318–321.
- Hirata M, Sakou A, Terayama Y, Furuya M, and Nanba T. 2008. Selection of feeding areas by cattle in a spatially heterogeneous environment: Selection between two tropical grasses. *Journal of Ethology*, 26, 327–338.
- Henkin Z, Ungar ED, Dvash L, Perevolotsky A, Yehuda Y, Sternberg M, et al. 2011. Effects of cattle grazing on herbage quality in an herbaceous Mediterranean rangeland. *Grass and Forage Science*, 66, 516–525.
- Henkin Z, Ungar ED, Perevolotsky A, Gutman M, Yehuda Y, Dolev A, et al. 2015. Long-term trade-offs between herbage growth, animal production and supplementary feeding in heavily grazed Mediterranean grassland. *Rangeland Ecology and Management*, 68, 332–340.
- Holochek JL, Pieper RD, and Herbel RD. 1998. *Range management: Principles and practices*, 5th ed. Englewood, NJ: Prentice-Hall.
- Hooper JF and Heady HF. 1970. An economic analysis of optimum rates of grazing in the California annual-type grassland. *Journal of Range Management*, 23(5), 307–311.
- Ives AR and Carpenter SR. 2007. Stability and diversity of ecosystems. *Science*, 317(5834), 58–62.
- Leriche H, LeRoux X, Gignoux J, Tuzet A, Fritz H, Abbadie L et al. 2001. Which functional processes control the short-term effect of grazing on net primary production in grasslands? *Oecologia*, 129(1), 114–124.
- Lodge GM and Johnson IR. 2008. Using modeling to explore the relationships between predicted long-term stocking rate and sheep intake of pasture and supplement for a native grass-based pasture near Barraba. In: Boschma SP, Serafin LM, and Ayres JF (Eds). *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Grassland Society of New South Wales*. Orange: Grassland Society of NSW Inc. pp. 141–143.
- Macleod ND and McIntyre S. 1997. Stocking rate impacts on the production and economic performance of steers grazing black speargrass pastures. *The Rangeland Journal*, 19(2), 174–189.
- Mueller-Dombois D and Ellenberg H. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York, NY: Wiley.



בתה עשבונית בפריחה בכרי דשא בחודש אפריל. בתקופה זו נערכים רוב סקרי הצומח השנתיים בחלקות הניסוי צילום: גיא דוברת



עננים מעל חלקות הניסוי בכרי דשא בתחילת האביב. מבט לדרום-מזרח צילום: אפרים לוינסון



פיקוס השדרות בישראל: עבר, הווה ועתיד

צביקה מנדל*¹ | אלכסי פרוטסוב¹ | אביגיל הלר² | חיים גבריאלי³

- 1 המכון להגנת הצומח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
- 2 אגף יער ואילנות, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
- 3 אגף שפ"ע, עיריית תל אביב
- * zmendel@volcani.agri.gov.il

תקציר

את ההיבטים ההיסטוריים והביולוגיים של פיקוס השדרות; (ב) להתחקות אחר צעדי אקלומו בישראל; (ג) לעמוד על הגורמים הביולוגיים המאתגרים את שגשוגו ואת הרחבת נטיעתו באזורים העירוניים בישראל.

לפיקוס השדרות מקום מרכזי בעצי הנוי והשדרה בישראל. חשיבותו הנוכחית של העץ ותרומתו לאיכות החיים בדגש על שינוי האקלים, הן נושאים המובנים מאליהם כיום. לדוגמה, יכולת הקירור של הצמחייה העירונית נעה בשיא היום בין 2 ל-4 מעלות צלזיוס, אך מין עץ זה מסוגל להשיג מיתון טמפרטורות המגיע עד ל-5 מעלות. לעצים רחבי צמרת, כמו מיני פיקוס, השפעה רבה על הפחתת הטמפרטורות ועל הורדת עומס החום.

ישנם שפע פרסומים מדעיים ופופולריים העוסקים בפיקוס בעולם בכלל ובישראל בפרט, אך במסגרת זו לא ניתן להתייחס לכלום וכן לא למגוון ההיבטים הקשורים בעץ חשוב זה. ההתייחסות בסקירה זו היא למספר סוגיות שהמחברים רואים בהן חשיבות ועניין. שלוש המטרות העיקריות של המאמר הן (א) להציג בקיצור

מילות מפתח

אקלום, נשר במרחב העירוני, פגעי תשתית, פנולוגיה, צל במרחב הציבורי, תפוצה גאוגרפית

על מיני הסוג פיקוס

Ficus Friedrich Anton Wilhelm Miquel את האחרון כ-*Ficus retusa* var. *nitida* (Miquel, 1867). שני הטיפוסים ניכרים בהבדלים מורפולוגיים אחדים. למשל, ל-*retusa* הטיפוסי יש מעט שורשי אוויר (Barrett, 1949). במקביל, זוהה המין *F. microcarpa* כ-*Urostigma microcarpum*. הבוטנאי ההולנדי גרמני Karl Ludwig Blume היה זה שגרס שיש זהות בין *F. retusa* var. *nitida* לבין *F. microcarpa* (Blume, 1836). אחד מהחוקרים שעסקו בטקסונומיה של העץ, בעיקר באוכלוסיות נטועות בקובה ובארזה"ב, היה פרוכ' אוטו ורבורג. ורבורג איחד תחת השם *F. nitida* כמה וכמה שמות טקסונים של העץ שתוארו במהלך המאה ה-19 כמינים נפרדים (Barrett, 1949).

כיום מקובל (למשל, Corner, 1965; Chaudhary et al., 2012) שמדובר בשני מיני עצים, האחד הוא *F. retusa* הטיפוסי, שהתפוצה הטבעית שלו כוללת את הודו (אולי רק באזור גואה) ובמלזיה, והוא כולל גם את *F. retusa* var. *nitida* המכסה באופן טבעי אזורים בהודו, במלזיה ובבורמה. המין השני הוא *F. microcarpa* המופיע באופן טבעי באזורים רבים בהודו, בבוטאן, בנפאל, במלזיה, בסרילנקה, בטאיוואן ובאוסטרליה. אין נתונים גנטיים שעשויים להעיד על ההשלכות שיש לכך על המקור של אוכלוסיות עצי פיקוס השדרות בארץ, או על החרקים, ובכלל זה המזיקים, של העץ כאן. המין הנפוץ בארץ, להשערת כותבי המאמר, הוא *F. microcarpa*.

נביטה והתפתחות של פיקוס השדרות

כמו מרבית המינים בתת-הסוג *Urostigma*, גם פיקוס השדרות הוא "עץ חונק" (Richard and Strangler fig). Halkin, 2017) המתחיל את התפתחותו על עץ פונדקאי אחר (hemiepiphyte). עם זאת, בדומה למינים אחרים בסוג הוא גם מצויד בגמישות המתאימה לנבוט על משטח סלעי (lithophyte) (Shuyi, 2009 – Rensted et al., 2008). במהלך 200 השנים האחרונות ניטע פיקוס השדרות באזורים רבים בעולם. לאחר התבססות הצרעה המפירה בבתי הגידול הפתוחים והעירוניים, פיקוס השדרות נוטה להתפשט במרחב ללא עזרת האדם, ונובט מהזרעים שמפיצים ציפורים ויונקים (Riefner, 2016) (ורבים אחרים) וככל הנראה גם נמלים. בארץ הוא מוגדר כצמח פולש באזור בקעת הירדן, הערבה וים המלח, בעיקר בשטחים טבעיים.

אקלום של פיקוס השדרות באזור הים התיכון

העדות הראשונה לאקלום פיקוס השדרות מחוץ לאזור התפוצה הטבעי של העץ היא של Tineo (1827) מסיציליה.

הפיקוס שייך למשפחת התותיים (Moraceae), שם הסוג בעברית הוא גם שמו המדעי – *Ficus* – שפירושו בלטינית תאנה (ברבים *fici*, ובאנגלית *fig*). כל המינים בסוג הם צאצאי אב קדמון אחד, שהופיע לראשונה לפני 80–100 מיליון שנים (Hollis and Broomfield, 1989; Datwyler, 2008; Ronsted et al., 2004; and Weiblen, 2008). העץ הופיע לראשונה באזורים גאוגרפיים שהיוו את היבשת הדרומית Gondwanaland (אוסטרלאסיה, הודו, אפריקה ודרום אמריקה), שם מופיעים גם כיום רוב מיני הסוג באופן טבעי. בסוג פיקוס שבעה תת-סוגים. פיקוס השדרות שייך לתת-הסוג *Urostigma*. בעולם מוכרים כ-800–1,000 מיני פיקוס כעצים וכשיחים (Whistler, 2000). המאפיין העיקרי של המינים הוא בכך שהם יוצרים תפרחת כלואה בתוך מבנה, והיא מהווה את הפגה (*syconium*). מחצית מהמינים הם חד-ביתיים (כמו פיקוס השדרות), כלומר בעלי טיפוס אחד של תפרחות הכולל את האברים הנקביים והזכריים. מאפיין חשוב נוסף של מיני הפיקוס הוא ההסתמכות על צרעות עפצים מהמשפחה Agaonidae לצורך הפריית הכגות. ישנו מין ספציפי של צרעה לכל מין פיקוס (Janzen, 1979; van Noort and Rasplus, 2015). מיני הפיקוס תלויים לחלוטין בצרעות לצורך האבקה וייצור הזרעים.

מחקרים בפנולוגיית הפריחה של עצי פיקוס מעידים שייצור הפירות חייב להמשיך להתקיים על פני עונה ארוכה, ולעיתים אף כל השנה כדי להבטיח את הישרדות המאביק (Mawdsley et al., 1998). מיני הפיקוס מניבים פירות הנאכלים על ידי ציפורים ועטלפים ומהווים חלק ניכר ממזונם ואת הבסיס להישרדותם, ובעלי חוליות אלה הם המפיצים העיקריים של הזרעים למרחק.

הזהות של פיקוס השדרות ותפוצתו הגאוגרפית

שמו המדעי של פיקוס השדרות היה תחילה *Ficus retusa*, ולאחר מכן *Ficus nitida*, שממנו נגזרו השמות שהיו שגורים עבורו בעברית – "פיקוס נוצץ" ו"תאנה מזהירה". כיום שמו המדעי הוא *Ficus microcarpa* (Riefner, 2016). עם זאת, תמונת הזהות מורכבת יותר. התיאור המדעי הראשון של העץ פורסם ב-1678 תחת השם *Itti-arealou* Rheede. פירוש השם הוא "Little Root-Tree" (הכוונה לשורשי האוויר, באחת השפות ההודו-ארייות Indo-Aryan). שם המין *retusa* מופיע לראשונה ב-1767. אך ב-1843 תיאר Thumberg את העץ כ-*nitida*, ובמשך מאה שנה הם נחשבו למינים נפרדים, אם כי כבר ב-1861 נטען (Bentham, 1861) ש-*nitida* הוא אותו טקסון (*synonym*) כמו *retusa*. מעט מאוחר יותר קבע הבוטנאי ההולנדי

ביניהם עצי פיקוס השדרות (שמואל גילר, מידע אישי). עם זאת, סביר להניח שהגן במקווה ישראל, שתכנן אוטו ורבורג, היה בין המקומות הראשונים שהעץ ניטע בהם בישראל (זיידנברג, 1951). משה סמילנסקי (1953) בספרו על נס ציונה כותב שב-1921 התארח ברחובות אגרונום צרפתי (שמו אינו מוזכר). לבקשת אנשי נס ציונה הוא תכנן את הגן במקום, ודרש לכרות את עצי האיכליפטוס ולטעת במקום עצי פיקוס השדרות. האם יש רמז לכך, ששתילי העץ היו כבר זמינים בארץ? לא בהכרח. ייתכן שאותו אגרונום הכיר את העץ בשל השדרות שניטעו כבר 70 שנה קודם במצרים. סביר יותר להניח שפיקוס השדרות הובא לישראל כנראה באמצע שנות ה-20 של המאה ה-20, ככל הנראה ממצרים. דרואינוב (1936) מציין ש"עצים מיוחדים לנוי הובאו לשם כך ממצרים", וזו עדות עקיפה ליבוא חומר ריבוי ממצרים של פיקוס השדרות. ייתכן שעצים אלה הובאו ממצרים ביוזמתו של ורבורג ב-1921 או 1922, סמוך להקמה של המכון לחקלאות ולמדע הטבע. יש להניח שהנטיעות הראשונות של פיקוס השדרות היו בתל אביב בין השנים 1925–1930. ב-1932 עבר המכון לחקלאות ולמדע הטבע לתחנת הניסיונות החקלאית (התחנה לחקר החקלאות) ברחובות. המשתלה הוקמה סמוך למכון ויצמן (העתיד, אז מכון דניאל זיו), שם ניטעו שדרות של פיקוס השדרות, שעדיין קיימות כיום כחלק מהשטח של מכון ויצמן.

עדות מוקדמת נוספת לעצי פיקוס השדרות באותה תקופה היא נטיעה סמוך לשדרת דקלי הווינגטוניה בשטחו של רודולף וילנד בהתנחלות הטמפלרית בעמק בית שאן (נחשוני, 1989). על פי צילום משנת 1931 של השדרה החדשה (צונץ, 2015), ניטעו ככל הנראה עצי הפיקוס עם הקמת השדרה או לא הרבה אחריה. ייתכן שהקליטה הקלה של ייחורי פיקוס השדרות בהשוואה למיני עצים רבים אחרים (גבריאלי, 2019) והיותו עץ צל משמעותי (תכונה שמעודדת ייצור שתילים), תרמו גם להפצתו.

אומנם ביגר וליפשיץ (1997) מציינים יבוא זרעים של פיקוס השדרות מטנזניה בתקופת ממשלת המנדט, אך ספק אם נטעו את העץ באזור זה באפריקה, ואין כל תיעוד של הימצאות הצרעה המאביקה שהייתה מאפשרת ייצור זרעים באותן השנים בטנזניה.

שתילה נרחבת של פיקוס השדרות בארץ החלה בשנות ה-30 וה-40 של המאה ה-20. בראשית שנות ה-30 החלה הנטיעה של העץ בשדרות רוטשילד בתל אביב (ידיעות עירית תל אביב, 1933). השדרות ההיסטוריות הראשונות של תל אביב, שהיוו מערכת תכנונית אחת, ניטעו בפיקוס השדרות (תל ורדי 2014). שדרות רוטשילד ניטעו בין השנים 1919–1936, אך פיקוס השדרות ניטע בהן, ככל הנראה, רק מראשית שנות ה-30. בשנת 1943 היה בנטיעות העירוניות של תל-אביב 2,751 עצים ממין זה (ידיעות עירית תל אביב, 1943).

על פי דיווחו הובא העץ לסיציליה לפני 1827. באמצע המאה ה-19 ניטעו עצי פיקוס השדרות בגנים בוטניים בספרד (מידע אישי – Blanca Lasso de la Vega Westendorp; Rodríguez de Berlanga, 1903; Hill, 1915; Westendorp, 2015).

האקלום המוקדם ביותר של פיקוס השדרות במזרח הים התיכון היה ככל הנראה במצרים, כנראה במחצית הראשונה של המאה ה-19. נטיעה המונית של עצי פיקוס, ובכללם פיקוס השדרות, החלה בתקופת השליט העות'מאני מוחמד עלי פשה אל כביר. הנטיעות היו ברובן לאספקת עץ לבניית ספינות, ומאוחר יותר, מ-1860 ואילך, החלה הקמת שדרות נרחבות במצרים. ההקמה לוותה גם בנטיעות עצי השדרה, ובתוכם פיקוס השדרות, שהוא מעצי הרחוב החשובים ביותר במצרים, ובפרט בקהיר (Ahmed Shalaby, מידע אישי; El-Sheshtawy, 1969; El-Hadidi and Boulus, 1979).

אקלום ועדויות מוקדמות על פיקוס השדרות בישראל

עדויות רבות, אם כי עקיפות, מרמזות של הקשר האפשרי של פרוץ אוטו ורבורג לאקלום פיקוס השדרות בישראל. אוטו ורבורג לא היה רק בוטנאי דגול בעל שם עולמי ומחשובי החוקרים של פיקוס השדרות בעולם, אלא גם מנהיג ציוני גדול "שחלקו רב בתחיית העם והארץ" (טהון, 1948), מראשי הציונות בגרמניה, הנשיא השני של ההסתדרות הציונית בין 1905 ל-1911, ואבי הבוטניקה של ישראל (רוזנברג, 2022). יש לציין כי במכתב לתיאודור הרצל ב-1900 פירט ורבורג את רשימת העצים שראוי לאמץ בחורשים הטבעיים של ישראל (טהון, 1948), אך פיקוס השדרות לא נמצא ברשימה. ההתייחסות הראשונה לפיקוס השדרות בגינון בישראל היא ככל הנראה של מאיר אפלבוים. אפלבוים היה אגרונום ממייסדי זיכרון יעקב, וממפתחי ענף ההדרים בארץ, והיה ראש הגננים של ראשון לציון (תדהר, 1947). במסגרת פעילותו כיועץ לענייני גינון של תל אביב כותב אפלבוים במכתב ב-1911 שאין ברשותו עצי פיקוס השדרות (אותו הוא מכנה *F. nitida*), ומציין שהעץ מתאים לשמש לנטיעת שדרות, ושהוא שוקל לייבא את חומר הריבוי לארץ (שלוש, 1999).

ארנון-קרסילובסקי (2016) כותבת על נטיעה של פיקוס השדרות בשנת 1915 בשדרות ירושלים ביפו על ידי תלמידי מקווה ישראל. לטענתה, השתילים הובאו ממקווה ישראל לכבוד ג'מל פחה, מושל סוריה וארץ ישראל. אליהו קראוזה, שניהל את מקווה ישראל החל משנת 1914, היה מיווד עם ג'מל פחה. המשתלה במקווה ישראל אכן סיפקה שתילים של מיני עצים אחדים, כגון איכליפטוס וושינגטוניה חוטית לנטיעת השדרות, אך למעשה אין כל עדות לכך שהיו

לעץ עצמו. בין שאר 28 המינים אין מזיקים בעלי משמעות להתפתחות התקינה של העץ (מידע אישי). בין המינים הספציפיים נכללים מיני הצרעות המתפתחים בכפות שאינם גורמים בפועל נזק בעל משמעות לעץ. עם זאת, סביר להניח שההבשלה והתפתחות הזרעים גורעות מההתפתחות הווגטיבית של העץ. מבין שבעת המינים מזיקי העלווה הספציפיים, מגיית הפיקוס (*Microparlatoria fici*), תריפס מקפל העלים של הפיקוס (*Gynaikothrips ficorum*) וכנימת עש הפיקוס (*Singhiella simplex*), משגשים על פיקוס השדרות, אך מרוסנים היטב על ידי אויבים טבעיים, בעיקר על ידי צרעות טפיליות. התריפס *Anascirtothrips arorai* נדיר למדי, והגורמים האחראיים לריסונו עדיין לא ידועים (Mendel and Protasov, 2023, פרסום בהכנה). שלושה מינים הם מזיקי עלווה משמעותיים שהתבססו בישראל בעשור האחרון: צרעת עפצי העלים של הפיקוס (*Josephiella microcarpae*), הפסילה הצמרית של הפיקוס (*Macrohomotoma gladiata*) והפסילה מגלגלת עלים של הפיקוס (*Trioza brevigenae*) (מידע אישי).

מפגעי הפיקוס

א. הבשלת הפגות והפגעים הכרוכים בכך

הפגות בפיקוס השדרות מתפתחות בקצות הענפים בחלק מהלבלוב החדש רוב חודשי השנה. מחזור הלבלוב הראשון נרשם במהלך חודש מרץ. במהלך השנה יש לפיקוס השדרות במישור החוף בין שניים לארבעה גלי פריחה, כתלות בחיוניות העץ. מחזורי התפתחות הפגות, כלומר הופעת גלי פריחה המסתיימים בגלי הבשלה, אינם במועדים קבועים. ארבעת גלי הבשלה ונשירת הפגות הם כדלקמן: הראשון בין מאי למחצית ראשונה של יוני, השני בין המחצית השנייה של יולי ובחודש אוגוסט, השלישי באוקטובר, והרביעי בין חודש ינואר לפברואר (גבריאל, 2019).

במחצית הראשונה של שנות ה-70 של המאה ה-20 נרשמה לראשונה בישראל הצרעה *Odontofroggatia galili*, שהיא צרעה בולסת, כלומר, אינה מאביקה את הפגות, אך גורמת להבשלתן (Galil and Copland, 1981). בשל כך, החל מסוף שנות ה-70 של המאה ה-20 התחלפה נשירת פגות קטנות ויבשות בהתפתחות פירות עסיסיים מאוד, שהפכו את העץ למייצר נשר פרי רב במרחב העירוני (גליל, 1980). הצרעה המכרה *Eupristina verticillata* התבססה כאן כעשור מאוחר יותר (Ramírez and Montero, 1988). כיום מוכרים שבעה מיני צרעות המתפתחים בפגות של פיקוס השדרות (מידע אישי). הופעת הצרעה המכרה שינתה את אופן הבשלת הפרי. הוא עסיסי פחות בשל עומס הזרעים, ונוטה להתייבש. עם זאת, הבשלת הפרי של פיקוס השדרות מחוללת זיהום סביבתי ניכר. המפגעים העיקריים של העץ

קצב הצמיחה של פיקוס השדרות מרשים, ותלוי באיכות בית הגידול. לעיתים עצים גדולים ומרשימים אינם בהכרח עתיקים, אלא ניטעו בבית גידול מוצלח. לדוגמה, את שדרת העצים המרשימה בכניסה לבית לחם הגלילית ניטעו ילדי בית הספר 'אלון הגליל' בחגי ט"ו בשבט "רק" בשנים 1959–1960 (יעקב אקרמן, מידע אישי).

עצי פיקוס השדרות בישראל בהווה

פיקוס השדרות ניטע וגדל בכל אזורי הארץ, פרט לאזורים הגבוהים. המין יכול להתפתח בהצלחה על מגוון קרקעות, ובכלל זה במשטרי לחות קרקע רחבים (כולל חופי ים וביצות בבתי הגידול הטבעיים שלו). עם זאת, יתרונו רב בקרקעות עמוקות של מישור החוף, בתנאים של השקיה נדיבה או מי תהום גבוהים. סבילותו הרבה למזהמים תורמת ליתרונו בערים כעץ שדרה. בישראל העץ משגשג בעיקר לאורך מישור החוף ובשפלה (מידע אישי).

מנתונים שנמסרו למחברים מ-25 עיריות לאורך מישור החוף והשפלה (טבלה 1 באתר כתב העת), נראה שבמדינת ישראל נטועים כ-25,000 עצים בוגרים של פיקוס השדרות, כ-20% מהם בתל אביב בלבד. בתל אביב וברחובות, שהיו הערים הראשונות לטעת את פיקוס השדרות, הוא איבד את הבכורה. למרות סגולותיו כעץ צל גדול-ממדים, העץ כמעט ואינו ניטע, ומוחלף במינים אחרים, כמו סיגלון (*Jacaranda mimosifolia*) שהפך בשנים האחרונות למין העיקרי שניטע בתל אביב. הסיבה המרכזית להסתייגות מנטיעות חדשות של העץ נעוצה בהבשלת הפגות, תהליך שהחל בסוף שנות ה-70 של המאה ה-20, ובמידה מסוימת גם בשל התפתחות אגרסיבית של שורשים הפוגעים לעיתים בתשתיות.

פגעי הגנת הצומח

מחוללי המחלות השכיחים בפיקוס השדרות אינם ספציפיים, וחודרים לעץ דרך פצעים בשלד העץ. הפתוגנים השכיחים הם שלושה מיני פטריות ממשפחת הבהוקתיים (Ganodermataceae) מהסוג בהוקית (*Ganoderma*): *G. resinaceum*, *G. australe*, *G. lucidum*, הניכרים בעיקר בבסיס הגזע ובחלקי הגזע התחתונים. ממשפחת Hymenochaetaceae נרשם מין פטרייה נוסף, *Inonotus rickii*, הגורם לכיבים ולריקבונות בענפים, בגזע צוואר השורש ובשורשים. מוכרים גם כיבים הנושאים חיידיקים מהסוגים *Erwinia*, *Entrobacter* ו-*Pseudomonas* (גבריאל, 2019).

42 מיני חרקים צמחוניים נמצאו בישראל על פיקוס השדרות, מתוכם 14 הם ספציפיים, ובהם גם אלה הגורמים לנזק ישיר

מהנדסים, קבלני בניין ואינסטלציה וגנים בישראל מכירים דרכי טיפול ומניעה נאותות במפגעים במקרים אלה (חיים גבריאלי, מידע אישי).

דין ומסקנות

פיקוס השדרות ניטע בישראל מזה כ-100 שנים. זהו עץ חסון, מאריך ימים המשיג ממדים מרשימים וארכיטקטורה נאה, המשודרגת אם מטפחים גם את שורשי האוויר. עץ זה הוא אחד המתאימים ביותר ליצירת צל ולהתמודדות עם שינוי האקלים במישור החוף של ישראל (אלואיל, 2008). הבחירה העקבית במין עץ זה במשך עשרות רבות של שנים נבעה מהצלחתו בבתי גידול רבים, מעמידותו לפגעים ביוטיים ואביוטיים וכמובן מריבוי יעיל מייחורים כדי להפיק מפיקוס השדרות את מרב התועלת, על רקע האתגרים השונים שמעמיד בפניו העץ כיום, וכדי להמשיך ולטעת אותו, יידרשו מקבלי ההחלטות ומנהלי השטחים להתמודד עם שורה של סוגיות.

סוגיה ראשונה: פתרון למניעה או לריסון הבשלה המונית של הפגות. הניסיון להתמודד עם מפגע הפגות באמצעות ריסון ייצורן ההמוני החל כבר בסוף שנות ה-80 של המאה ה-20. הניסיונות כללו בעיקר מניפולציה הורמונלית שלא צלחה, וממשק גיזום שהביא לפתרון חלקי (גבריאלי ושות', 1991; געש ודוד, 1991; הורוביץ ושות', 1991). בימים אלה נחקרת דרך אפשרית נוספת לצמצום מפגע הפגות המבשילות. הפתרון עשוי להימצא בגנוטיפים של העץ שיבטאו שינוי מולקולרי בגנום שיאפשר שיבוש של תהליך ההבשלה. להבנת כותבי המאמר, הדברה ביולוגית יעילה של הצרעות המשרות את הבשלת הפגה אינה מעשית. עם זאת, סביר שיימצאו בבתי הגידול הטבעיים של העץ יוצרי עפצים שמתמחים בהתפתחות על הפגות הצעירות ומשבשים במהלך התפתחותם את ההתפתחות הרגילה של הפגה, ובכך גם את הבשלתה.

סוגיה שנייה: צמצום ומניעה של פגיעת השורשים בתשתיות. השימוש הנרחב בעץ ושיתולו לעיתים במקומות שאינם מתאימים, כמו בסמיכות רבה למבנים (גם, מכיוון שהעץ וממדיו לא היו מוכרים היטב לרבים מאנשי המקצוע) היו המקור לבעיה. הרחבת הידע המקצועי – בכל הקשור ל: (א) התאמת הנטיעה לבתי הגידול; (ב) קטיעה מקצועית של שורשים; (ג) שימוש בתכשירים מעכבי צימוח שורשים או ירעות מגבילות שורשים – תבטיח את השגת המטרה (גבריאלי, 2019).

סוגיה שלישית: התמודדות עם העלייה המתמדת בהתבססות מיני חרקים פולשים ספציפיים הפוגעים בהתפתחות הכותרות. אקלום של אויביהם הטבעיים של המזיקים, שרובם ככולם שייכים לקבוצות חרקים המרוסנים

הכרוכים בהבשלת הפירות הם נשירת הפירות על נתיבי הליכה (מדרכות) ונסיעה, זיהום וסכנת החלקה.

מפגע פגות משמעותי נוסף קשור לפעילות של עטלף הפירות המצוי (*Rousettus egyptiacus*), יונק חברתי הניזון ממגוון מקורות מזון, ובעיקר מפירות (Kulzer, 1979). לעטלפי פירות יש התנהגות הזנה טיפוסית, הכרוכה בכך שלא כל רקמת הפרי הנאכלת נצרכת, והתהליך כרוך במיצוי הנוזלים וביריקת הרקמות הקשות וחלק מהזרעים לציין כי עיקר הזיהום נגרם בשל התזת צואה נוזלית (יוסי יובל, מידע אישי). כדי לשמור על משקל גוף נמוך, על עטלפי הפירות לווסת את המים בגופם. כליות העטלף מתמודדת עם אתגר זה על ידי הפרשות ניכרות של שתן מהול מאוד (Arad and Korine, 1993). הפרשות אלה מלכלכות מבנים בסביבות העצים שהעטלפים ניזונים מהם. כלומר, הפרשות עטלף הפירות המצוי מעצימות את מפגע הבשלת הפירות, היות שפירות פיקוס השדרות הם חלק ניכר ממזון העטלף בערים רבות בישראל.

ב. פגעי תשתית הנגרמים על ידי שורשי פיקוס השדרות

באזורים אחדים בעולם, למשל בקליפורניה, פיקוס השדרות נחשב לפולש אגרסיבי (Randall, 2012; PIER, 2014). פיקוס השדרות מוכר זה מכבר כהמייאפיפיט (צומח על צמח אחר או על דומם), ולכן הוא משגשג על קירות ומבנים בערים, למשל בהונג קונג (Jim, 1998; Jim and Chen, 2011). אך למרות כמויות עצומות של זרעים ועצים שמייצרים עצים בוגרים של פיקוס השדרות, ברוב אזורי הארץ הוא אינו מוגדר כחשוד לפולשנות. נמצא כי רק באזור בקע ים המלח, סביב מעיינות עין דוד ועין גדי, הוא מוגדר כצמח פולש בשלבי פלישה מוקדמים (דוכור-דרור, 2019).

ההתפתחות הנמרצת של העץ ניכרת גם בגדילה עוצמתית של מערכת השורשים, בעיקר כשאספקת המים נדיבה. מי תהום גבוהים מאפשרים התפתחות פרטים ענקיים, אך הם גדלים בעיקר בשטחים פתוחים או בשטחים שהיו פתוחים בשנות ההתפתחות העיקריות של העץ. ההתפתחות נמרצת גם ללא השקיה בשל עומק מערכת השורשים. בבתי גידול עירוניים שורשים של פיקוס השדרות מסוגלים לעיתים לחדר למערכות ביוב וכך להבטיח לעצמם אספקת מים רבה. בשל כך, בקרבת מבנים העץ גורם לעיתים לסתימת צינורות הביוב. נוסף על כך, בקרבת מבנים עלולים השורשים העבים, בעיקר אלה הסמוכים לגזע העץ, ליצור לחץ ולגרום נזק למבנה, בעיקר כשבסיסו אינו יציב. יש עדויות רבות להטיית קירות תמך, ולהרמת שטחים מרוצפים על ידי השורשים (גבריאלי, 2019).

התופעות והמפגעים הללו אופייניים לעצים הקרובים מאוד למבנים, במרחק שלא עולה על 3 מטר. התופעות האלה נדירות כשהעץ גדל במרחקים גדולים יותר. אדריכלים,

תודות

המחברים מבקשים להודות לשורה של מומחים, כל אחת ואחד בתחומו, שתרמו מידיעתם ומעצתם. מישראל: טלי אלון מוזס, דן איזיקוביץ' (ז"ל), נחמן ברנשטיין, און ברק, יוסי גולדברג, שמואל גילר, ישראל גלון, שולה יודריך, אהוד וייס, עדה ויטורניה סגרה, עמי זהבי, רמי זיידנברג, יוסי יובל, אהרון מנירום, ורד נבון, אילן סריאן, עידית סופר, נטשה פישר, מורן פלג, אורי רוזנברג, שמואל תגר. מחו"ל: Ahmed Shalaby מצרים, Kim Starr הוואי, Blanca Lasso de la Vega Westendorp ספרד, Steve Compton בריטניה, Rick Riefner ארה"ב, Salvatore Ragusa Di Chiara סיציליה, Jean-Yves Rasplus צרפת. אנו אסירי תודה לגורמים רבים בערים בישראל שסיפקו נתונים חיוניים להערכת שכיחות עצי פיקוס השדרות שבאחריותם.

היטב על ידי צרעות טפיליות, הוא פתרון נדרש ובטוח להבנתם של כותבי המאמר.

סוגיה רביעית: שמירה על בריאותם וחיוניותם של עצים מבוגרים. כיום גדלים בישראל עצי פיקוס השדרות בני כ-100 שנה, שרובם חיוניים ובריאים. בסין מוכר פרט של פיקוס השדרות שגילו מוערך ב-1,400 שנים (Anon. 2022). הבטחת חוסנם ואריכות ימיהם של עצים ותיקים תושג באמצעות ממשק מתאים. דוגמאות לממשק כזה: (א) הימנעות מפגיעה בלתי מבוקרת, טיפול בפצעים כבר בעצים בגילים הצעירים והקפדה על כך בעצים הוותיקים יותר, ימנעו במידה רבה חדירה של פתוגנים פטרייתיים; (ב) הבטחת אוורור מערכת השורשים על ידי מניעת הידוק קרקע; (ג) משק מים ראוי המפצה על שנות בצורת במקומות שהעץ ניהנה רק מזמינות מים טבעית. כל אלה יאפשרו את שגשוגם של עצי פיקוס השדרות לשנים רבות.

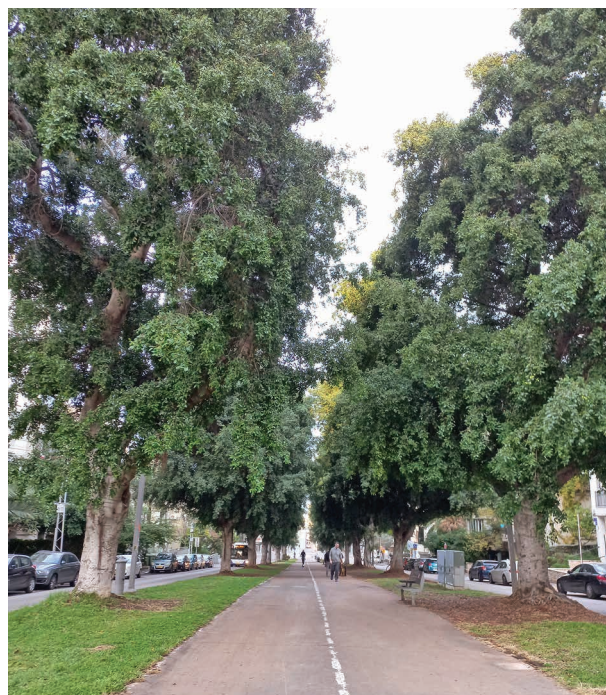
מקורות

- רוזנברג א. 2022. אוטו ורבורג – בוטניקה שמושית וציונות מעשית. בלוג "נושנות". שלוש א. 1999. מי היה אותו אפלבוים? גינות שמרון: הוצאת רחל בע"מ. תדהר ד. 1947. אנציקלופדיה לחלוצי הישוב ובנויו. כרך 1, עמ' 464. <http://www.tidhar.tourolib.org/tidhar/view/1/464>
- תל ורדי ג. 2014. עיר לבנה וירוקות שדרותיה. קובץ מאמרים, הכנס הארצי ה-2 לשימור מורשת התרבות. רמת גן: המחלקה לגיאוגרפיה וסביבה, אוניברסיטת בר אילן. עמ' 24–31.
- Anon. 2022. Monumental trees. https://www.monumentaltrees.com/en/chn/westernchina/guangxizhuang/11079_darongshuscenicarea/. Viewed 24 Dec 2022.
- Arad Z and Korine C. 1993. Effect of water restriction on energy and water balance and osmoregulation of the fruit bat *Rousettus aegyptiacus*. *Journal of Comparative Physiology B*, 163(5), 401–405.
- Barclay R and Jacobs D. 2011. Differences in the foraging behaviour of male and female Egyptian fruit bats *Rousettus aegyptiacus*. *Canadian Journal of Zoology*, 89(6), 466–473.
- Barrett MF. 1949. *Ficus retusa* L. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 76(1), 53–64.
- Bentham G. 1861. *Flora Hongkongensis; A Description of the Flowering Plants and Ferns of the Island of Hongkong*. Lovell Reeve, London, UK. doi: 10.5962/bhl.title.55821
- Berlanga MR. 1903. *Catálogo del Museo de los Excmos. Señores Marqueses de Casa-Loring*. Málaga, Tip. de Arturo Gilalbert. 193 p.
- Blume KL. 1836. *Ficus* sp. *Rumphia*, 2(71).
- Chaudhary L, Sudhakar J, Kumar A, Bajpai O, Tiwari R, and Murthy G. 2012. Synopsis of the Genus *Ficus* L. (Moraceae) in India. *Taiwania*, 57(2), 193–216.
- Corner EH. 1965. Check-list of *Ficus* in Asia and Australasia with keys to identification. *Garden's Bulletin Singapore*, 21, 1–186.
- Datwyler SL and Weiblen GD. 2004. On the origin of the fig: Phylogenetic relationships of Moraceae from ndhF sequences. *American Journal of Botany*, 91, 767–777. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.91.5.767>
- אלואיל א. 2008. הפיקוסים מצילים את תל-אביב. פרספקטיבה: כתב-עת לאדריכלות, 26, 54.
- ארנון-קרסילובסקי ח. 2016. תרבות הגן והנוף בארץ ישראל מתקופת המקרא ועד לימינו. תל אביב-יפו: אחיאסף.
- בינר ג ולפשיץ נ. 1997. הניסיונות לאקלום עצים אקזוטיים בארץ-ישראל בתקופת השלטון הבריטי קתדרה 85 (תשרי תשנ"ח), 123–164.
- גבריאיל ח. 2019. פיקוס השדרות בישראל, טיפוח עצים – גיזום, אורתופדיה, בטיחות ובילוגיה. ISBN 978-572-837-8.
- גבריאיל ח, פרסמן א ובירן י. 1991. מניעת נזק אסתטי מנשירת פגות הפיקוס. גן ונוף, מ"ו (א), 29, 38–39.
- גליל י. 1980. מה קרה לפיקוס-השדרות בארץ? טבע וארץ: כתב-עת לטבע ולידיעת הארץ, כ"ב (5), 201–203.
- געש ד ודוד י. 1991. הפחתת נשירת פירות בעצי פיקוס השדרות, גן ונוף, מ"ו (י), 400–406.
- דופור-דרור ז-מ. 2019. פיקוס השדרות. מתוך: הצמחים הפולשים בישראל. הוצאת הגן הבוטני האוניברסיטאי ירושלים, המשרד להגנת הסביבה, החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים.
- דרויאנוב א. 1936. תל אביב: פרק ראשון. בתוך: דרויאנוב א (עורך). ספר תל אביב, כרך ראשון, תל אביב: הוצאת ועדת ספר תל אביב. עמ' 145–201.
- הורוביץ מ, געש ד, אמיתי ש, מנדל צ וגבריאיל ח. 1991. עיכוב הצמיחה והפחתת נשירת הפירות בעצי פיקוס השדרה. גן ונוף, מ"ו (ח-ט), 361–364.
- זיידנברג ד. 1951. מדרין-לגן-הבוטני בביה"ס החקלאי מקוה-ישראל. המחלקה לחינוך מקצועי של משרד החינוך והתרבות. הפיקוח על החינוך החקלאי.
- טהון י. 1948. אוטו וארבורג: הנשיא השלישי של ההסתדרות הציונית העולמית: קורות חייו ודברי הערכה. הרצליה: הוצאת מסדה.
- ידיעות עיריית תל אביב. 1933. שנה רביעית גיליונות 4–5, ארכיון עיריית תל-אביב-יפו.
- ידיעות עיריית תל אביב 1943. שנה שלוש עשרה, גיליונות 3–4, ארכיון עיריית תל-אביב-יפו.
- נחשוני א. 1989. התיישבות הטמפלרים בבקעת בית שאן 1929–1939. מורשת דרך (בטאון) אגודת מורי הדרך ותיירות בישראל, 31.
- סמילנסקי מ. 1953. נס ציונה: שבעים שנות חייה, תרמ"ג-תשי"ג. נס ציונה: המועצה המקומית.
- צונץ א. 2015. התיישבות הטמפלרים ו"קבוצת אריה" באזור ערידה בעמק בית שאן. חג הקיבוץ, תשע"ה, שדה אליהו.

- Mendel Z and Protasov A. 2023. *Fig wasp complex of laurel ficus in Israel*. [Manuscript in preparation]. Plant Protection Institute, Volcani Center, Ministry of Agriculture.
- PIER. 2014. Pacific Islands Ecosystems at Risk. Honolulu, USA: HEAR, University of Hawaii. <http://www.hear.org/pier/index.html>
- Ramírez WB and Montero JS. 1988. *Ficus microcarpa* L., *F. benjamina* L. and other species introduced in the New World, their pollinators (Agaonidae) and other fig wasps. *Revista de Biología Tropical*, 36, 441–446.
- Randall RP. 2012. *A Global Compendium of Weeds*. Perth, Australia: Department of Agriculture and Food Western Australia.
- Rheede HA. 1678. *Hortus indicus malabaricus*. Amstelaedami: J. van Someren, 1678–1703.
- Richard L and Halkin S. 2017. Strangler figs may support their host trees during severe storms. *Symbiosis*, 72(2), 153–157.
- Riefner RE. 2016. *Ficus microcarpa* (Moraceae) naturalized in Southern California, USA: Linking plant, pollinator, and suitable microhabitats to document the invasion process. *Phytologia*, 98(1), 42–75.
- Ronsted N, Weiblen G, Savolainen V, and Cook J. 2008. Phylogeny, biogeography and ecology of *Ficus* section *Malvanthera* (Moraceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48, 12–22.
- Shuyi C. 2009. Threat and weediness attributes of *Ficus* (Moraceae) (Bachelor of Science Thesis). National University of Singapore.
- Tineo V. 1827. *Catalogus plantarum Horti Regii Panormitani ad annum 1827*. Panormi: ex Regali Typographia.
- Van Noort S and Rasplus JY. 2015. Figweb: figs and fig wasps checklist of Indo-Australasian *Ficus* (Moraceae). http://www.figweb.org/Ficus/Checklists/Checklist_Indo-Australasian_Ficus.htm
- Westendorp BL. 2015. Plantas y Jardines en la Málaga del siglo XIX. El caso singular de la Hacienda La Concepción (PhD dissertation). Granada, Spain: Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Granada.
- Whistler WA. 2000. *Tropical Ornamentals*. Portland, Oregon, USA: Timber Press.
- Downs CT, Mqokeli B, and Singh P. 2012. Sugar assimilation and digestive efficiency in Wahlberg's epauletted fruit bat (*Epomophorus wahlbergi*). *Comparative Biochemistry and Physiology – A Molecular and Integrative Physiology*, 161(3), 344–348.
- El-Hadidi M and Boulos L. 1979. *Street Trees in Egypt*. Cairo: Cairo University Press.
- El-Sheshtawy M. 1969. *Parks of Cairo in Mamluk and Ottoman Age*. Cairo: Cairo University Press.
- Galil J and Copland J. 1981. *Odontofroggattia galili* Wiebes in Israel, a primary fig wasp of *Ficus microcarpa* L. with a unique ovipositor mechanism (Epichrysomallinae, Chalcidoidea). *Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam*, 84, 183–195.
- Hill AW. 1915. The history and functions of botanic gardens. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 2(2), 185–240.
- Hollis D and Broomfield PS. 1989. *Ficus*-feeding psyllids (Homoptera), with special reference to the Homotomidae. *Bulletin of the British Museum Natural History, Entomology*, 58(2), 131–183.
- Janzen DA. 1979. How to be a fig. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10, 13–51.
- Jim C. 1998. Old stone walls as an ecological habitat for urban trees in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 42, 29–43.
- Jim C and Chen W. 2011. Bioreceptivity of buildings for spontaneous arboreal flora in compact city environment. *Urban Forestry and Urban Greening*, 10, 19–28.
- Kulzer E. 1979. Ecology and geographical range in the fruit-eating cave bat genus *Rousettus* Gray 1821 – A review. *Bonner Zoologische Beiträge*, 30, 233–275.
- Mawdsley NA, Compton SG, and Whittaker RJ. 1998. Population persistence, pollination mutualisms and figs in fragmented tropical landscapes. *Conservation Biology*, 12, 1416–1420.
- Miquel FA. 1867. *Ficus retusa* y *pisifera*. *Annales Musei botanici lugduno-batavi*, 3, 288.



הפסילה הצמרית של הפיקוס
צילום: צביקה מנדל



פיקוסים בשדרות בן ציון בתל אביב
צילום: צביקה מנדל

עירייה	סך כל עצי פיקוס השדרות	דירוג השכיחות בהשוואה למיני עצים אחרים	העץ השכיח ביותר (או השני בשכיחותו לפיקוס השדרות)
תל-אביב-יפו	5,488	2	סיגלון עלה-מימוזה <i>Jacaranda mimosifolia</i>
אשדוד	2,000	6	שלטית מקומטת <i>Peltophorum dubium</i>
קריית ביאליק	2,000	1	דקלים, סוגים שונים
פתח תקווה	1,950	1	ברכיכטון, מינים שונים <i>Brachychiton spp.</i>
ראשון לציון	1,300	7	סיגלון עלה-מימוזה
רמת גן	1,000	?	סיגלון עלה-מימוזה
חולון	840	1	סיסם הודי <i>Dalbergia sissoo</i>
כפר סבא	799	1	איכליפטוס המקור <i>Eucalyptus camaldulensis</i>
רחובות	729	14	פנסית דו-נוצתית <i>Koelreuteria bipinnata</i>
אשקלון	700	4	צאלון נאה <i>Delonix regia</i>
בת ים	650	2	סיסם הודי
הרצליה	500	7	פנסית דו-נוצתית
נתניה	500	3	אשל, מינים שונים <i>Tamarix spp.</i>
רעננה	450	5	שלטית מקומטת
חיפה	400	מעטה	אורן הצנובר <i>Pinus pinea</i>
עכו	400	4	דקלים, סוגים שונים
גבעתיים	350	מעטה	סיסם הודי
יבנה	200	מעטה	?
חדרה	180	10	איכליפטוס המקור
נס ציונה	150	מעטה	אין מין דומיננטי
קריית ים	150	2	דקלים, סוגים שונים
כרדס חנה	100	מעטה	איכליפטוס המקור
קריית אונו	100	מעטה	ברכיכטון, מינים שונים
קריית מוצקין	100	מעטה	שלטית מקומטת
נהריה	85	מעטה	איכליפטוס המקור

טבלה 1

שכיחות עצי פיקוס השדרות ב-25 עיריות במישור החוף ובשפלה בישראל



ניטור המגוון הביולוגי ברשות הטבע והגנים ככלי לשמירת טבע

יהושע שקדי*, אורי פריד, עופר שטייניץ, נעם לידר

חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים

* y.shkedy@npa.org.il

רקע

מערכת מאוימת. לטווח הזמן של הניטור יש משמעות חשובה ליעדי הניטור. לרוב, ניטור ארוך טווח מתבצע כאשר נקבעת לשמורה, לאוכלוסייה או לחברה מטרה ברורה, ומתבצע מעקב עיתי בפרקי זמן קבועים כדי לבחון את תמונת המצב לאורך תקופת זמן. למשל, התבוננות ארוכת טווח במגמות באוכלוסיית המין חיונית להערכת מצב שימור המין. הערכה זו מתבצעת בהתאם לסטנדרט מוסכם של קטגוריות הרשימה האדומה של ה-IUCN (הארגון הבין-לאומי לשמירת טבע) לסיווג מינים בסכנת הכחדה. על פי הנחיות ה-IUCN, אחד המדדים להערכת הסיכון למין מסתמך על שינוי בגודל האוכלוסייה בחלון זמן המייצג שלושה דורות של המין, או בעשר השנים האחרונות (IUCN, 2022). התבוננות ארוכת טווח על מגמות באוכלוסייה מאפשרת פרספקטיבה על השונות לאורך זמן ותורמת להבנה של חומרת השינויים ומשמעותם לאוכלוסייה.

סוגי הניטור

ניטור בעלי חיים

רט"ג עוקבת אחר אוכלוסיות של עשרות מינים בשטחי התפוצה שלהם. מינים מסוימים נספרים בחלק מסוים של תחום התפוצה שלהם, ומינים אחרים נספרים במספר אתרים. למשל, צבי השיטים (*Gazella gazella acacia*)

רשות הטבע והגנים (להלן רט"ג) אחראית לניהול נכון של אתריה, שמורות טבע וגנים לאומיים, וכן לשמירה על ערכי טבע מוגנים באתריה ומחוץ להם. רט"ג מבצעת ניטור של המגוון הביולוגי בשטחים אלה ומחוץ להם כדי לעקוב לאורך זמן אחר מצב האוכלוסיות של מינים שונים, של חברות וכן של מערכות אקולוגיות טבעיות.

ניטור המגוון הביולוגי הוא רכיב חשוב בשמירת טבע ומשמש כלי בסיסי בעבודת רט"ג בקנה מידה מקומי וארצי. הניטור מאפשר להשוות יעילות של אמצעים שונים לניהול שטח, לבחון השפעה של שינויים סביבתיים, להתריע על איומים ולבחון פתרונות שונים. שינויים של המגוון הביולוגי בשטח מסוים במהלך הזמן נבחנים בדרך כלל ביחס להערכת המצב הרצוי לשטח המנוטר. פעולות הממשק מיועדות להביא את השטח לאותו 'מצב רצוי' (Niemelä, 2000). לעיתים מטרת הניטור היא ללמוד על המערכת האקולוגית, על השונות ברכיבי המגוון הביולוגי המאפיינת אותה, ועל הגורמים המשפיעים עליה לאורך זמן (Jones et al., 2011). בדרך כלל, המטרה בניטור אוכלוסיות היא לבחון מגמות בגודל האוכלוסייה ולהעריך את יציבותה.

כאשר מנטרים חברות של צמחים או בעלי חיים, בוחנים מדדים כמו עושר מינים והרכבם כדי להעריך את בריאות המערכת. המדדים הנבחנים צריכים להתייחס לקבוצות המינים הרלוונטיות למטרות הניטור. למשל, מגוון עשיר של מינים מקומיים יכול להעיד על בריאות המערכת, ואילו שפע של מינים פולשים או מינים מלווי אדם יכול להעיד על

מוגנות. עם הגחת האבקועים ושחרורם אל הים נספרים האבקועים ששרדו עם תום תקופת הדגירה וכן מספר הביצים בכל קן (לידר ושות', 2022).

ניטור הצומח

ניטור זה מתמקד במספר כיוונים: א. מינים בסכנת הכחדה. התוכנית האסטרטגית לשימור צמחים בסכנת הכחדה שמובילה רט"ג בשיתוף מכון דש"א כוללת סקר ארצי של הצמחים בסכנת הכחדה בישראל למעקב אחר תפוצה והערכת גודל אוכלוסייה. הסקר מתבצע בכל רחבי הארץ, בשמורות הטבע ומחוץ להן. ב. מינים נבחרים באתרים ידועים (לבל ושות', 2022). גודל האוכלוסייה ומצב הרכב חברת הצמחים של מינים נבחרים נבחנים בסקרים בשמורות טבע. תוצאות הסקרים משמשות את מנהלי השטח ואת האקולוגים ברט"ג להבנת המצאי ובמידת הצורך להפעלת אמצעי ממשק מתאימים. ג. מינים שנקטפים לצורכי מאכל. אוכלוסיות נבחרות של אזוב מצוי (*Origanum syriacum*) ועכובית הגלגל (*Gundelia tournefortii*) מנוטרות באזורים עתירי קטיף כדי לבחון את מצב האוכלוסיות הנתונות לקטיף, ולבסס על המידע הזה מדיניות אכיפה. ד. מדדים שונים הנותנים אינדיקציה למצב הצומח. המדידות מתבצעות בעזרת חישה מרחוק, כולל שימוש בדימותי לוויין, ובעזרת מחושבים המדדים המשמשים לבחינת חיוניות הצומח ולניטור שרפות. המדדים מאפשרים לענות על שאלות נוספות המותאמות לאזורים ייחודיים.

ניטור בתי גידול

א. שלוליות חורף ובתי גידול מימיים – מדי שלוש עד חמש שנים מתבצע סקר חסרי חוליות בחלק ניכר משלוליות החורף בישראל (גורן ומילשטיין, 2018). הנתונים ביחד עם סקרים על בתי גידול מימיים אחרים, כמו נחלים, משמשים את רט"ג לבחון אם משטר המים (ניקוז) מאפשר לבית הגידול לקבל מהסביבה מספיק מים כדי לאפשר את קיומו לאורך זמן.

ב. הים התיכון – בעשור האחרון מתבצעים סקרים בשמורות הים התיכון (ראש הנקרה-אכזיב, שקמונה, דור-הבונים וגדור) בשיתוף פעולה עם חוקרים מהאקדמיה לבחינת מגוון המינים של דגים, חסרי חוליות ואצות (דיגה ויהל, 2022; לצרוס ושות', 2022; פריד ושות', 2022). הנתונים משמשים בימים אלה לבניית בסיס ידע למצב הים, ומתוכם ייקבעו מטרות השמורות הימיות.

ג. מפרץ אילת – עיקר הניטור נערך על פי תוכנית במימון המשרד להגנת הסביבה ובביצוע המכון הבינאוניברסיטאי באילת. במהלך הניטור נעשה מעקב אחרי שינויים בתנאים האביוטיים במפרץ, כמו טמפרטורת המים ומליחות, ובתנאים הבינטיים, כמו שינויים בהרכב ובשפע של חברת האלמוגים (שקד וגנין, 2022). רט"ג מנהלת תוכנית ניטור

נספר באתר היחיד שהוא מתקיים בו, בחי-בר יוטבתה. לעומת זאת, אוכלוסיות של צבי הנגב (*Gazella dorcas*) נספרות בכ-15 אתרים שונים ברחבי הנגב (לידר ושות', 2022). חלק מהספירות של בעלי החיים מתבצעות בשעות היום, אך יש מינים הנספרים גם בשעות הלילה בזמן שהם פעילים, למשל עטלפים ותנים.

שיטות הספירה מוגנות. למשל, כדי להעריך את מספרם של יונקים שונים, כמו תן זהוב (*Canis aureus*) ושוועל מצוי (*Vulpes vulpes*), נספרים בלילה כל הפרטים הנצפים מכלי רכב הנוסע במסלולים ידועים מראש. בספירות אלה מספר הפרטים הנצפים הוא מדד המייצג את צפיפות האוכלוסייה, וההתמקדות היא במגמות של שינוי יחסי. במקרים אחרים המטרה היא להגיע למפקד של האוכלוסייה כולה (כך למשל באוכלוסיית צבי השיטים). חלק מהספירות מבוצעות בסיוע אמצעים אלקטרוניים, כמו אמצעים לזיהוי קולות שמשמיעים עטלפים, מצלמות שבייל (למשל לספירת לוטרות [*Lutra lutra*]) או מעקב אחרי בעלי חיים מסומנים במשדרים (למשל לספירת נשרים מקראיים [*Gyps fulvus*]). ניטור עופות מתמקד ברובו ברבייה. בסקרים שנתיים נספרים הקינים שנמצאו בשטח, ומספר הזוגות המקננים משמש מדד לגודל האוכלוסייה. כמו כן, מתבצעות ספירות נוספות לתיעוד פרטים גם מחוץ לעונת הקינון כדי לאמוד את גודל האוכלוסייה ולבחון כמה פרטים נוספו לאוכלוסייה. שלושה מינים – שקנאי מצוי (*Pelecanus onocrotalus*), עגור אפור (*Grus grus*) וקורמורן גדול (*Phalacrocorax carbo*) – נספרים תוך ניסיון לאמוד את כל הפרטים שנמצאים בישראל. אלה מינים נודדים הגורמים נזקים לחקלאות, ומתבצע ממשק כדי להקטין את הקונפליקט בין שמירת הטבע לבין החקלאות. נוסף על כך, מדי שנה (כבר למעלה מ-57 שנים) מתבצע מפקד לעופות המים החורפים בישראל, במסגרת הספירה הכללית באזור הפליאוארקטי (לידר ושות', 2022).

קבוצת הדו-חיים מקבלת התייחסות במסגרת ניטור בתי הגידול המימיים. שלושה מינים זוכים לסקרים ייעודיים: א. עגולשון שחור גחון (*Latonia nigriventer*), מין שלכאורה נכחד מישראל והתגלה שוב בעמק החולה (Biton et al., 2013); ב. סלמנדרה מצויה (*Salamandra infraimmaculata*); ג. חפרית מצויה (*Pelobates syriacus*). נוסף על הניטור, נעשה מאמץ מחקרי נרחב כדי ללמוד על הביולוגיה של העגולשון, שלא הייתה ידועה עד השנים האחרונות, ועל העדפות בית הגידול שלו שעדיין אינן ברורות. גודל אוכלוסיות הסלמנדרה נאמד באתרים רבים בצפון ישראל, ובבתי גידול מסוימים נספרים שרוכי הטלה של חפריות.

הזוחלים שרט"ג מנטרת באופן אינטנסיבי הם צבי ים. מדי בוקר בעונת ההטלה נסרקים מרבית חופי ישראל שיש אליהם גישה חופשית, במטרה לאתר קינים שהוטלו בהם ביצים במהלך הלילה הקודם, ולהעתיקן לחוות הדגרה

היעל), האוכלוסייה יציבה יחסית. אך התבוננות רק על עשר השנים האחרונות מגלה שהאוכלוסייה בירידה. מגמה זו מעוררת דאגה. ייתכן שהיא נובעת מצמצום השטח הזמין ליעלים בגלל הבולענים ובשטחים החקלאיים בפרט ומדריסות מתגברות לאורך כביש 90.

איור 1ב מתאר את השינויים באוכלוסיית היעלים בהרי אילת. כצפוי, יש מתאם בין גודל אוכלוסייה זו לשינויים בכמות המשקעים. הבצורת החריפה שנמשכה עד שנת 2010 גרמה ככל הנראה לצמצום ניכר בגודל האוכלוסייה, ועם העלייה ברמת המשקעים גדלה האוכלוסייה חזרה לממדיה מלפני כ-20 שנים.

בהר הנגב ישנן שתי אוכלוסיות: סמוך למדרשת שדה בוקר (איור 1ג) ובשמורת מצוק הצינים הסובבת אותה (איור 1ד). בשתי האוכלוסיות נצפית מגמת עלייה, אך העלייה במספר הפרטים באוכלוסייה בשמורה אינה מובהקת, והיא מאופיינת בתנודתיות גבוהה שחלק ממנה מוסבר בפזיזות היעלים בשטח הטבעי המקשה על הספירה.

מתצפיות על עדרי יעלים בהרכבים מתחלפים, שיש בהם פרטים שנושאים תגים וניתנים לזיהוי באופן אינדיווידואלי, מתברר שיש הפרדה בין העדרים השונים, ועדרים הנוטים להתבסס בשטח הטבעי ממעטים לחדור אל המדרשה. זוהי תצפית מדאיגה, משום שמצד אחד התנודות הגדולות בגודל האוכלוסייה בשטחים הטבעיים עלולות להביא אוכלוסייה זו לסף הכחדה לאחר רצף של שנות בצורת, ומצד שני, התבססותה של אוכלוסייה נפרדת בשטח המדרשה, שניזונה מהצמחייה בגינות המושקות וממעטת לחפש מזון בשטח הטבעי, החמירה את החיכוך בין היעלים לבין תושבי המדרשה. בעיות נוספות שנצפו באוכלוסייה זו הן פגיעות של גדרות וכלבים ביעלים (לידר ושות', 2022).

ספירות היעלים מראות שלכל אוכלוסייה יש דינמיקה אחרת. להערכת רט"ג, מצב אוכלוסיות היעלים במדבר יהודה ובנגב יציב, אך כל אוכלוסייה סובלת מאיומים המחייבים פעולות ממשק ייעודיות. לדוגמה, האוכלוסייה בהרי אילת מנותקת מאוכלוסיות אחרות בגלל גדרות המערכת לאורך הגבולות עם ממלכת ירדן ועם מצרים או בגלל הנחלים הגדולים שתוחמים את האוכלוסייה מצפון ושאנים בית גידול מתאים ליעלים. יש חשש של ממש שאם תתרחש הכחדה מקומית של האוכלוסייה, לא יהיה מקור טבעי לאכלוס מחדש של יעלים במרחב זה. לנוכח האיומים השונים שהאוכלוסיות השונות חשופות להם – ציד, דריסות, קיטוע, צמצום זמינות מקורות מים טבעיים מחד גיסא, ומשיכה למקורות מים ומזון אנתרופוגניים מאידך גיסא – יש חשיבות גדולה להמשך פעולות השימור המלווה בניטור (לידר ושות', 2022).

ניטור לדוגמה – צבי ים

רט"ג עוסקת בממשק ובניטור של צבי ים כבר כ-40 שנה. פעולת הניטור המרכזית מתבצעת בסריקה מדי בוקר

משלימה המתמקדת בשינויים בהרכב ובשפע של חברת הדגים בשיתוף פעולה עם מעבדות מחקר מהאקדמיה.

ניטור לאחר פעולות ממשק משמעותיות

ראוי שכל פעולת ממשק בשמורת טבע תלווה בניטור. פעולת הממשק נועדה לקרב את מצב הטבע בשמורה למטרות השמורה, ותפקיד הניטור הוא לבחון אם אכן הדבר כך. למשל, בשמורת הטבע בניצנים הוחלט להסיר חלק מהצומח המעוצה, בעיקר קידה שעירה (*Calicotome villosa*) ומיני צמחים פולשים כמו טיונית החולות (*Heterotheca subaxillaris*), שמייצבים את החולות בשמורה ומונעים את נדידת החולות. המטרות שנקבעו היו ברורות: הנעה מחודשת של החולות הנודדים והגדלת אוכלוסיות של מינים פסמופיליים (אוהבי חול) בשמורה, שיביאו לבניית הרכב מינים של צמחים ובעלי חיים המאפיין חולות נודדים. בשמורה מתבצעים ניטור ארוך טווח ומחקר מדעי נרחב (בשיתוף אוניברסיטת בן-גוריון בנגב). פעולות הממשק הניבו תוצאות מעניינות, ובעקבות הניטור התברר כי הרכב החברה בשטח הממשק השתנה, אך אינו דומה עדיין לזה שציפינו לו בהשוואה לחולות שאינם מיוצבים על ידי צומח. השמורה מנוטרת כבר כ-20 שנים כחלק מהמאמץ להבין את הדינמיקה של חברת הצמחים ובעלי החיים, את התהליכים המעצבים אותה ואת ההשפעות ארוכות הטווח של הממשק (Bird et al., 2020).

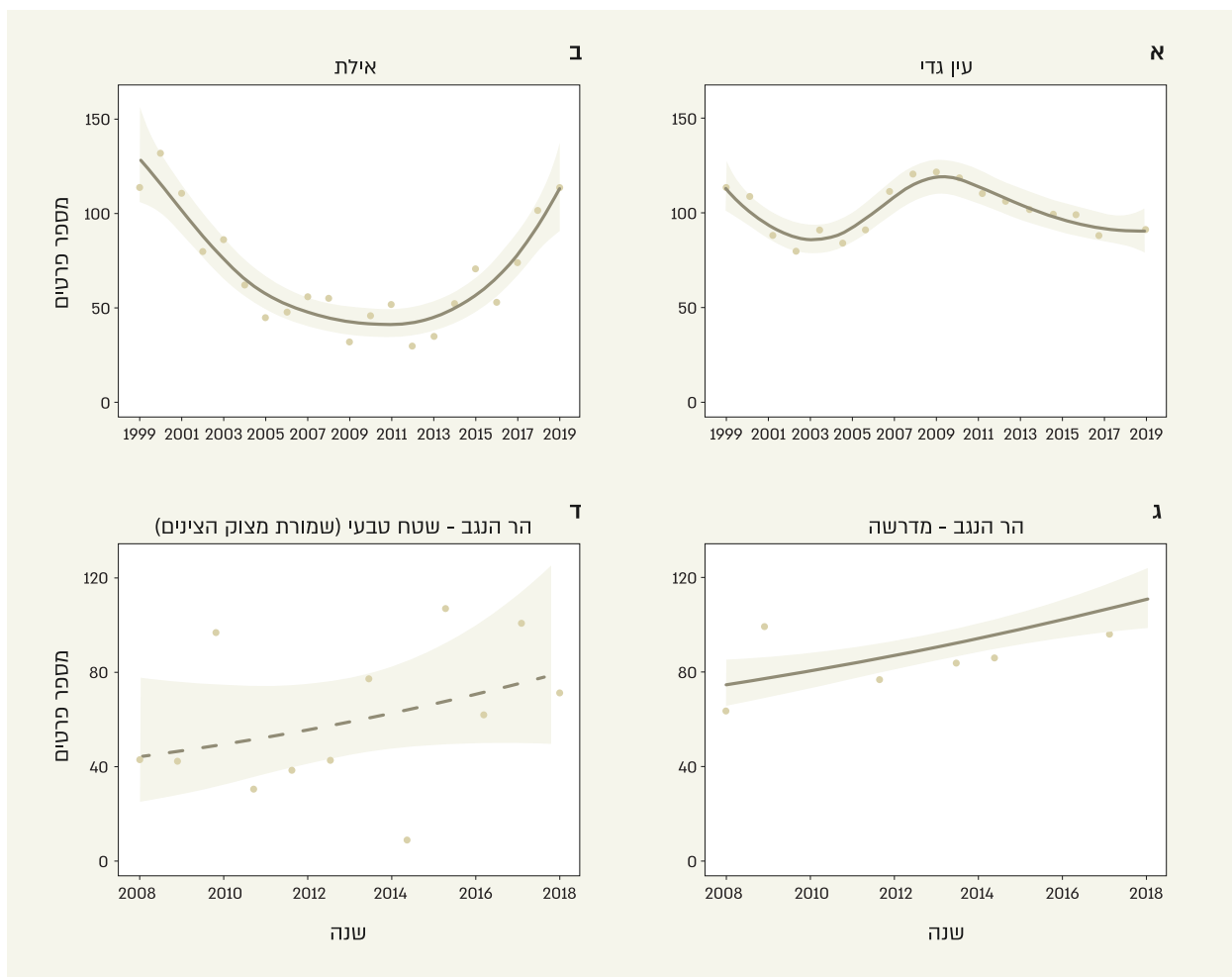
דוגמאות מהשטח

אנו מבקשים להציג ניתוח תוצאות ממספר דוגמאות לניטור ארוך טווח מטעם רט"ג ואת המסקנות הנובעות מהן. התוצאות מבוססות על דו"ח מצב חיות הבר בישראל (לידר ושות', 2022). מגמות בנתוני הספירות עם השנים נותחו באמצעות מודל מטיפוס GAMM (Generalized Additive Mixed Models) חבילת mgcv בתוכנת R (Zuur et al., 2009).

ניטור לדוגמה – אוכלוסיות היעלים

אוכלוסיות היעלים (*Capra nubiana*) בישראל מצויות בחמישה אזורים עיקריים. א. נווה המדבר עין גדי ומדבר יהודה; ב. הרי אילת; ג. הר הנגב באזור שדה בוקר; ד. אזור מצפה רמון; ה. רמת הגולן – אוכלוסייה קטנה שנוסדה עם העברה של מספר פרטים מאזור עין גדי לרמת הגולן. באיור 1 מוצגות תוצאות של ספירת יעלים באתרים נבחרים משטח התפוצה של המין.

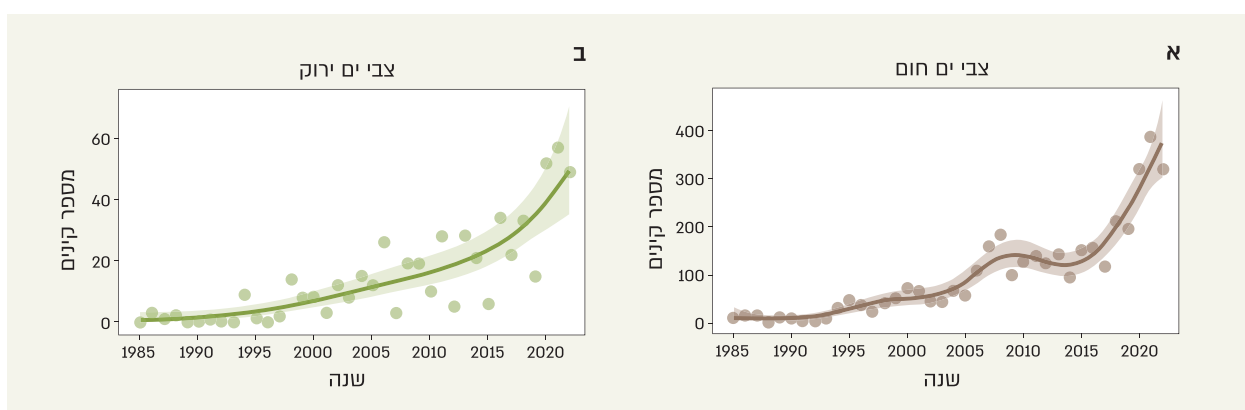
איור 1א מתאר את השינויים בגודל האוכלוסייה בנווה המדבר עין גדי. נראה שבהסתכלות על השינויים ב-20 השנים האחרונות (פרק זמן של שניים וחצי דורות עבור



איור 1

נתוני ספירות יעלים באזורים נבחרים

(א) אזור עין גדי; (ב) אזור הרי אילת; (ג) אזור הרי אילת - מדרשה; (ד) אזור הרי אילת - שטח טבעי. מספר הפרטים במספר היעלים באזור הנבחר. בשאר האזורים המודל ברמת מובהקות $P < 0.01$.



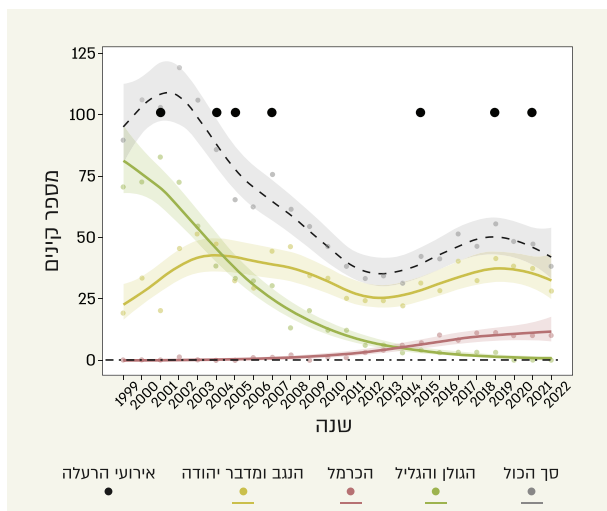
איור 2

מספר קיני צבי ים לאורך חופי ישראל

(א) צבי ים חום, (ב) צבי ים ירוק. העלייה במספר הפרטים עם השנים נמצאה מובהקת ($P < 0.001$) בשני המינים (מודל GAMM).

טיפול מערכתי בגורמי האיום יש חשיבות רבה. אוכלוסיית הנשרים בישראל תלויה במאמצי שימור נרחבים, ובהם: צמצום הפגיעה בנשרים דרך הרעלות זדוניות וצמצום הפגיעה מהרעלות עופרת ותרופות וטרניריות באמצעות תפעול תחנות האכלה ואיסוף פגרי בעלי חיים מהשטח. איסוף הפגרים צריך לכלול סיורים במסוק לשטחים קשים בגישה ואיתור פגרים מורעלים על ידי כלבים. לצד המאמצים יש לטפל באופן מערכתי בגורמי האיום ולקדם חקיקה, אכיפה ושיתוף פעולה עם גורמי תשתיות אנרגיה ובעלי עניין אחרים למניעת התחשמלות והתנגשות בקווי מתח ולהיערכות להתגברות האיומים, כגון חוות אנרגיית רוח (לידר ושות', 2022).

עובדי רט"ג ממשיכים מסורת ארוכה של ניטור שתחילתה בימיה הראשונים של רשות שמורות הטבע (שקדי ושות', 2001). רט"ג מעורבת בניטור המגוון הביולוגי בקבוצות טקסונומיות שונות, בשיטות שונות, במערכות אקולוגיות שונות ובקני מידה שונים, והיא חוליה חשובה בפעילות שמירת טבע. תוצאות הניטור מספקות תובנות לגבי מצבן של אוכלוסיות וחברות ולהערכת הסיכון לקיומן. תוצאות הניטור משמשות לבחינת יעילות הממשק ולקבלת החלטות לניהול השטח. הצפי לשינויים סביבתיים בעלי פוטנציאל השפעה משמעותית על הטבע בישראל, כמו שינוי האקלים, עלייה בצפיפות האוכלוסין והתפשטות מינים פולשים, מדגישים את החשיבות של ניטור המגוון הביולוגי להתמודדות עם אתגרי שמירת טבע בישראל.



איור 3

המספר הכולל של התחלות קינון נשרים וכן חלוקה לאזורי קינון עיקריים בשנים 2022-1999

נקודות שחורות מציינות אירועים שתועדו של נשרים שנפגעו מהרעלות. אזורי הקינון מראים מגמות שינוי מובהקות בהצלחת הקינון עם השנים ($P < 0.01$ מודל GAMM).

לאורך כל חופי ישראל (פרט לחופים שהגישה אליהם חסומה) לאיתור קינים של צבות ים משני מינים: צב ים ירוק (*Chelonia mydas*) וצב ים חום (*Caretta caretta*), שניהם בסכנת הכחדה. פעולות הממשק נושאות פרי, ומספר ההטלות של צב הים החום עולה בהתמדה ומגיע לכ-400 הטלות מדי שנה (איור 2), וזה של צב הים הירוק עולה בהתמדה ומגיע לכ-50 הטלות מדי שנה (איור 2).

אין ספק שהגידול במספר הקינים המאותרים מדי שנה לאורך חופי ישראל מרשים ביותר, בוודאי עבור צב הים החום. ייתכן שזו עדות להצלחת תוכנית השימור הוותיקה ותוצאה של השפעה של השינויים בפקודת הדיג, שבמסגרתם רשות הטבע והגנים קיבלה לידה את הפיקוח על הדיג בישראל ועל אכיפת תקנות הדיג ופקודת הדיג ואכיפת תקנות לאיסור דיג הפוגע בצבי ים. עם זאת, בהתחשב באורך הדור של צבי הים (כ-45 שנים) נדרשת זהירות רבה בהסקת מסקנות לגבי הצלחה של פעולות הממשק. יתר על כן, צבי הים מושפעים מאיומים מתמשכים, ובהם זיהום אור בחופי ישראל המשבש את התמצאות האבקועים ומסכל את יכולתם להגיע לים. לכן, יש צורך להתמיד לאורך זמן בפעולות הממשק לפי תוכנית השימור למינים הללו וכן בניטור מלווה כדי לבחון את יעילות השימור (לידר ושות', 2022).

ניטור לדוגמה – נשרים

סכנות רבות אורבות לנשר המקראי כמו לדורסים אחרים. הרעלות, התחשמלות, התנגשות בקווי מתח ואכילת מזון נגוע בתרופות. בעתיד יתווסף גם סיכון להיפגעות מלהבי טורבינות רוח המוקמות בישראל. הנשר הוא "מין דגל" וסמן לשמירת הטבע בישראל, והמעקב אחר אוכלוסיותיו מתבצע החל משנת 1999. אנו עוקבים אחר גודל האוכלוסייה הנצפה בספירות פעמיים בשנה (התוצאות לא מוצגות), ובעיקר אחר מספר הקינונים המתגלים לאורך מצוקי הקינון (איור 3).

מאז תחילת המאה ה-21 אנחנו עדים לשינויים דרמטיים באוכלוסיית הנשרים: ירידה חדה בקינון בגולן עד להכחדה מקומית, לצד עלייה בכרמל ותנודתיות בדרום (איור 3). דינמיקה זו מדאיגה במיוחד, כי השינויים הדרמטיים מתרחשים בתקופת זמן קצרה של מעט יותר מאשר דור אחד (15 שנה) מבחינת הנשר. למרות ההתייצבות במספר הקינים הארצי בעשור האחרון, התמונה המוצגת עגומה למדי – ירידה חדה בקינון בגלל פגיעה מהרעלות בשנים 2001-2010. על בסיס תוצאות אלה הוגדר הנשר בעדכון הרשימה האדומה לעופות המקננים בישראל ב-2017 (מירז ושות', 2017) כמין בסכנת הכחדה חמורה (Critically Endangered). לניטור אוכלוסייה קטנה וכגיעה זו לצד

מקורות

- בן-משה נ ורנן א (עורכים). 2022. דו"ח מצב הטבע 2022 – כרך מגמות ואיומים. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- גורן 7 ומילשטיין ד. 2018. ניטור דו-חיים בבריכות חורף – סקר ארצי שנת 2017. פרסומי חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים.
- דיגה ר ויהל ר. 2022. מבנה חברת הקרקעית (פרק ג). סקר שמורות הטבע הימיות בים התיכון הישראלי (Marine BioBlitz). דו"ח מסכם לסקרים שנערכו בשנים 2015, 2017, 2019, 2021. הוצאת רשות הטבע והגנים.
- יהל ר, פריד א ולצרוס מ. 2022. דיג ושמורות טבע (פרק א). סקר שמורות הטבע הימיות בים התיכון הישראלי (Marine BioBlitz). דו"ח מסכם לסקרים שנערכו בשנים 2015, 2017, 2019, 2021. הוצאת רשות הטבע והגנים.
- לבל מ, וולצ'אק מ וקר-רותם ת. 2022. שמירה על צמחים בסכנת הכחדה: סיכום עשור 2011–2021. הוצאת רשות הטבע והגנים.
- לידר נ, ארצי י, גולדשטיין ח, דולב ע, הצופה א, ידוב ש ושות'. 2022. מצב חיות הבר בישראל: אומדן גודל אוכלוסיות נבחרות של מיני חולייתנים והערכת מגמותיהן, דוח העשור 2020. דוחות שמירת הטבע. הוצאת רשות הטבע והגנים.
- לצרוס מ, פריד א ויהל ר. 2022. מבנה חברת הדגים (פרק ב). סקר שמורות הטבע הימיות בים התיכון הישראלי (Marine BioBlitz). דו"ח מסכם לסקרים שנערכו בשנים 2015, 2017, 2019, 2021. הוצאת רשות הטבע והגנים.
- מירוז א, וין ג, לבינר ג, שטייניץ ע, הצופה א, חביב א ושות'. 2017. הספר האדום של העופות בישראל. החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים. <https://redlist.parks.org.il/aves>
- שקד י וגנין א. 2022. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת. דוח מדעי לשנת 2021. שקדי י. 2001. על מצבם של מיני הבר בישראל. דוח לשנת 2001. אומדן גודל של אוכלוסיות נבחרות. פרסומי חטיבת המדע. הוצאת רשות הטבע והגנים.
- Bird TLF, Bouskila A, Groner E, and Bar Kutiel P. 2020. Can vegetation removal successfully restore coastal dune biodiversity? *Applied Sciences*, 10(7), 2310.
- Biton R, Geffen E, Vences M, Cohen O, Bailon S, Rabinovich R, et al. 2013. The rediscovered Hula painted frog is a living fossil. *Nature Communications*, 4, 1959.
- IUCN Standards and Petitions Committee. 2022. *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria*. Version 15.1. The Standards and Petitions Committee. <https://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>
- Jones JPG, Collen B, Atkinson G, Baxter PWG, Bubba P, Illian JB, et al. 2011. The why, what and how of global biodiversity indicators beyond the 2010 Target. *Conservation Biology*, 25, 450–457.
- Niemelä J. 2000. Biodiversity monitoring for decision-making. *Annales Zoologici Fennici*, 37(4), 307–317.
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA, and Smith GM. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R* (Vol. 574). New York: Springer.



יעל במצפה רמון
צילום: דורון ניסים



נטיעת עצים ושיחים למרעה דבורים בישראל

ארנון דג

מרכז מחקר גילת, מנהל המחקר החקלאי – מרכז וולקני
arnondag@volcani.agri.gov.il

מבוא

שונים למטרות ההאבקה, ובקיץ הן מועברות לאזורים שונים לפי זמינות הצמחייה עתירת הצוף. ההדרים היו בעבר מקור דבש מרכזי בישראל. בכל כוורת נאגרו כ-50 ק"ג דבש לעונה מכריחה, ואף למעלה מזה (דג ושות', 2000). עם צמצום שטחי הפרדסים בישראל והמעבר מזנים עתירי צוף, דוגמת השמוטי והוולנסיה, לזנים קליפים שונים בעלי פחות צוף, דוגמת ה'אור', כמויות הדבש המיוצרות מההדרים ירדו משמעותית.

הדבש הוא מוצר טבעי שמקורו מצוף פרחים שהדבורים אוספות. הדבורים מאדות את המים מהצוף ומפרישות אנזימים שמפרקים דו-סוכרים לחד-סוכרים. ריכוז הסוכרים בצוף הוא בדרך כלל 40%–20. לאחר אידוי המים ופירוק הדו-סוכרים מגיע ריכוז הסוכר ל-81%, הדבורים חותמות את התאים, והדבש מוכן לרדייה. סוגי הדבש נבדלים זה מזה בהתאם למקור הצמחי ששימש להפקתם. לרוב, מגדלי הדבורים משווקים את הדבש כ'דבש פרחי בר', שם כללי לסוגים שונים של דבש (multifloral honey), אבל מעדיפים לשווק דבש 'זני' (monofloral honey) שיש בו מקור צמחי דומיננטי, ולדבש צבע, מרקם, ריח וטעם שמאפיינים אותו. בישראל נפוצים דבש הדרים, דבש איקליפטוס, דבש שיזף, דבש כותנה, דבש זעתר, דבש תלתן ודבש אבוקדו (שפיר ודג, 2011).

המאמר בא לתאר את חשיבות מרעה הדבורים לענף המכורות ואת הניסיונות שנעשו במהלך השנים לשפר את האיכות והכמות של המינים המרכיבים את המרעה הזה.

דבורת הדבש (*Apis mellifera*) היא מין חברתי, אחד מתוך למעלה מ-1,000 מיני דבורים המוכרים מישראל, המשמש מקור לייצור דבש מזה אלפי שנים. שרידים של דונג דבורים נמצא בחפירות מהתקופה הכלכוליתית המאוחרת (4000 לפנה"ס לערך), וההשערה היא שחלות הדבש נאספו מנחילי בר (Chasan et al., 2021). גידול דבורים החל מאוחר יותר. הכוורות העתיקות בעולם – כדי חרס ששימשו לגידול דבורים – נמצאו בתל רחוב בעמק בית שאן ותוארכו למאה העשירית לפני הספירה (Bloch et al., 2010).

ישראל היא אחת המדינות הצפופות בעולם מבחינת מספר הכוורות ליחידת שטח, והיות שכך, חשוב שיימצא לכל כוורת מרעה מתאים שיאפשר לה לשמור על רמת האוכלוסייה ובריאותה ולאגור כמות מספקת של דבש כדי שהענף יהיה כלכלי. דבורי הדבש ניזונים מפרחים. הצוף שהן מעבדות לדבש משמש מקור לפחמימות, וגרגרי האבקה משמשים מקור לחלבונים, למינרלים, לווטמינים ולחומצות שומן (דג, 1996). הכוורות בישראל מבוססות על שני מקורות הכנסה: העיקרי הוא ייצור דבש, והמשני הוא השכרת כוורת לשם שירותי האבקה לגידולים חקלאיים שונים.

בשירותי ההאבקה תלויה הכנסה של כשני מיליארד ש"ח בשנה מכ-20 גידולים חקלאיים שונים ובראשם אבוקדו, שקד ותפוח עץ (דג, 2015). ככל שהמרעה עשיר יותר בצוף פרחים, כך יבולי הדבש גבוהים יותר. הכוורנים המסחריים הגדולים נוהגים לנדוד עם כוורותיהם בעקבות הפריחה. באביב רוב הכוורות מוצבות לאגירה בפרדסים ובמטעים

מחזור החיים השנתי של הכוורת

באמצע החורף, בחודשים דצמבר-ינואר, הכוורת נמצאת בתקופת השפל, אוכלוסייתן מצומצמת, והמלכה מטילה ביצים בקצב איטי ולעיתים רחוקות אף מפסיקה את ההטלה לחלוטין. פעילות הדבורים מוגבלת לימים בהירים בלבד, אז יוצאות הדבורים מהכוורת ומחפשות מזון בטווח הקרוב. זמינות הפרחים מצומצמת בתקופה זו ותלויה בגשם הראשון המשמעותי, המביא לנביטת הצומח העשבוני. בחודש פברואר הימים מתארכים, ופריחה רבה מתחילה להופיע. כל אימת שמזג האוויר מאפשר, יוצאות הדבורים לאסוף צוף ואבקת פרחים. קצב ההטלה של המלכה עולה במהירות ומגיע ל-2,000 ביצים ביום. קצב הטלה גבוה מביא לעלייה מהירה בגודל אוכלוסיית הכוורת, שמגיעה לשיאה במרץ-אפריל (איור 1). מזג האוויר מאפשר שעות תעופה רבות, והפרשת הצוף בפרחים מרובה. עיקר אגירת הדבש בישראל מתרחשת בחודשים האלה, ובסופם רודים הכוורת את הרדייה הראשונה ('רדייה אביבית').

אחרי הרדייה הכוורת מחזירים את הקומה העליונה של הכוורת, שהדבש מיוצר בה, להמשך אגירה מפריחת פרחי הקיץ. אגירה זו איטית יותר, והיא הולכת ופוחתת עם התייבשות צמחיית הבר לקראת יולי-אוגוסט. בסוף הקיץ רודים הכוורת את הרדייה השנייה ('רדייה קייצית'). לאחר מכן, הכוורת מטפלים נגד מחלות ומזיקים ומאכילים את הדבורים בכוורת כדי לשמור על רמת האוכלוסייה ועל בריאותה. בסתיו, בחודשים ספטמבר-נובמבר, תנאי מזג

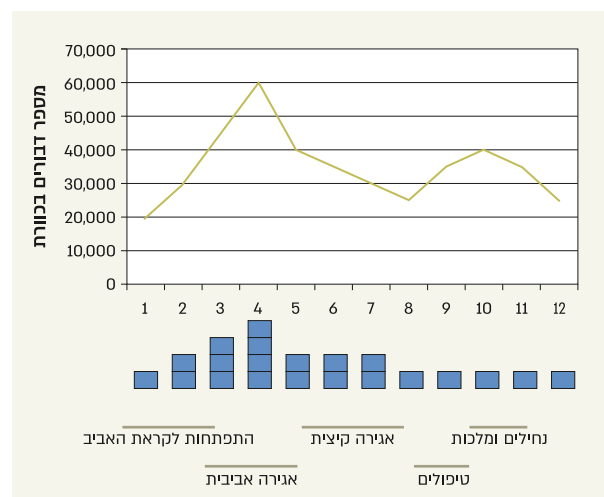
האוויר משתפרים וכן מופיע גל פריחה של חרוב מצוי (*Cerantonia siliqua*), מיני איקליפטוס (*Eucalyptus spp.*), טיון דביק (*Inula viscosa*) ועוד, המביאים לעלייה מסוימת בקצב ההטלה ובניית מלאי מזון בכוורת. זו תקופה חשובה, שכן בתקופה זו מחליפים הכוורת את המלכות הזקנות במלכות צעירות, ומפצלים את הכוורת כדי להשלים את הפחת השנתי (כוורת שהתחסלו במהלך השנה בשל מחלות, אובדן מלכה, נזקי ריסוסים ועוד). שפע המזון חיוני כדי שבכוורת יגדלו זכרים שיפרו את המלכות הצעירות, וכדי שהכוורת יוכלו להתחזק לקראת הכניסה לחורף.

ניסיונות בישראל לשיפור מרעה דבורים עשבוני ושיחני
בארץ ניטעים אלפי שיחים למרעה דבורים המגודלים במשתלות קק"ל. מבין הסוגים הניטעים למטרה זו ניתן למנות את הסוג לבן עלה (*Leucophyllum spp.*) שמקורו בדרום ארה"ב ובמקסיקו, ופריחתו הוורודה השופעת מספקת שפע של גרגרי אבקה לדבורים. הצמח עמיד מאוד ליובש ולתנאי גידול קשים. גם רוזמרין רפואי (*Rosmarinus officinalis*) על מגוון הזנים שלו, הוא בעל פריחה ממושכת ומקור צוף ואבקה חשוב לדבורים. מינים שונים של מרווה (*Salvia spp.*) פורחים על פי רוב באביב ומספקים צוף רב לדבורים לייצור דבש איכותי, וכך גם שיח אברהם (*Vitex spp.*) שמתאים מאוד לבתי גידול לחים. פירוט על מינים נוספים המתאימים לנטיעה למרעה דבורים ניתן למצוא בספרם של סימה קגן ופאבלו צ'רקסקי (2013). פירוט נרחב על כלל המינים, מיני הבר ומיני התרבות בישראל המספקים צוף ואבקה לדבורים ניתן למצוא בחוברת שפרסמו אביגיל הלר ושות' (2016).

עצי יער מרכזיים המשמשים למרעה דבורים בישראל

איקליפטוס

דיווחים ראשוניים על חשיבותו של האיקליפטוס לענף המכוורת בארץ נכתבו עוד לפני קום המדינה על ידי זהרי ופאהן (1947), ומאוחר יותר על ידי גינדל (1956). עצי האיקליפטוס מהווים מקור דבש מרכזי בישראל. המינים השונים נבדלים זה מזה במועדי הפריחה, ובמחקר שנערך נמצא כי למעשה על ידי שילוב מינים שונים ניתן להגיע לרצף פריחה כמעט כל השנה (דג ושות', 2011). במסגרת המחקר נערך מעקב על 78 מיני איקליפטוס בשישה אתרים, ותועדו חודשי הפריחה ורמת פעילות הדבורים בעצים מהמינים האלה (איור 2). בעקבות המחקר הומלץ על התמקדות בנטיעת המינים הבאים למרעה דבורים: איקליפטוס כתום (*E. torwood*), איקליפטוס סטריקלנד (*E. stricklandii*), איקליפטוס גיל (*E. gillii*), איקליפטוס וודוורדי (*E. woodwardii*), איקליפטוס בהיר קליפה (*E. umbellate*).



איור 1

עקומת התפתחות כוורת אופיינית בישראל

איור סכמטי המתאר את הדינמיקה השנתית של אוכלוסיית הכוורת בתנאי ישראל (למעלה), מספר הקומות של כוורת טיפוסית בעונה (בכחול באמצע), והפעילויות הכוורתיות בעונה (למטה).

המינים מספקים כמויות גדולות של צוף ומאפשרים ייצור דבש שיזף ('סידר') שיש לו ביקוש גדול במגזר הערבי בארץ ובעולם, ומחירו מגיע לכ-150 דולר לק"ג (Nuru et al., 2012), לעומת כעשירית מזה שמקבלים הכוורנים בישראל על הדבש בדרך כלל.

חרוב מצוי

החרוב המצוי הוא עץ חורש ים תיכוני, שפורח בסתיו ומספק אבקה וצוף. המין דו-ביתי, כלומר יש עצים עם תפרחות זכריות שנאספים מהם גרגרי אבקה וצוף, ויש עצים בעלי תפרחות נקביות שנאסף מהם הצוף. בארץ נפוצים שני זנים עיקריים של חרוב מצוי: זן חרוב הבר שפרטיו מפוזרים בחורש, והזן חרוב קפריסאי שניטע בשנות ה-50 על ידי קק"ל לטובת האכלת בקר ועופות (חומסקי, 1984). חרוב הבר אטרקטיבי באופן משמעותי מהקפריסאי לדבורים, ועל כן בנטיעות למרעה הדבורים מתרכזים בטיפוס זה.

כליל החורש

כליל החורש (*Cercis siliquastrum*) בולט בפריחתו הוורודה ופורח מוקדם בעונת האביב. פריחה זו מספקת מזון לדבורים ומסייעת בהתפתחות הכוורות לקראת שיא האגירה בחודשים מרץ-מאי.

ינבוט

הינבוט (*Prosopis*) כולל מספר מינים לא מקומיים שמקורם מאמריקה. בארץ ניטע בעיקר ינבוט לבן (*Prosopis alba*). העץ עמיד לתנאי יובש ומתפתח מהר יחסית. פריחתו בסוף האביב שופעת ואטרקטיבית מאוד לדבורים. מיני ינבוט שונים מתפשטים בהיקפים גדולים במדינות שונות ונחשבים כצמח פולש. למשל, בירדן הפך ינבוט המסקיטו (*Prosopis juliflora*) לצמח פולש מספר אחת (שמידע, 2016), ועל כן הפסיקו לנטוע אותו בפעולות ייעור בישראל.

אשל

בארץ גדלים מספר מינים של אשל (*Tamarix*), וכולם עמידים ליובש ולמליחות. המין העיקרי המשמש למרעה דבורים בישראל הוא אשל הפרקים (*Tamarix aphylla*). מין זה נטוע לאורך הכבישים בצפון הנגב ומשמש מקור צוף משמעותי בסוף הקיץ לייצור דבש כהה האופייני לצמח. מין משמעותי נוסף, הפורח בדרך כלל מוקדם יותר בשנה בעיקר באזור הערבה, הוא אשל היאור (*Tamarix nilotica*).

פרויקט נטיעת מרעה דבורים

פרויקט נטיעות למרעה הדבורים החל בחורף 1996/7 והוא גובש על ידי ד"ר מנחם זקס, מנהל אגף הייעור בקק"ל בזמנו,

איקליפטוס לויקוקסילון (*E. leucoxylon var. leucoxylon*), איקליפטוס מקרוקרפה (*E. leucoxylon var. macrocarpa*), איקליפטוס קטן נוף (*E. brachyphylla*), איקליפטוס המקור (*E. camaldulensis*), איקליפטוס לנסדון (*E. lansdowneaba*), איקליפטוס *E. ficifolia*, *E. bicolor*, איקליפטוס אדום מצנפת (*E. erythrocorys*), *E. gracilis*, *E. foggatti* ואיקליפטוס מערבי (*E. occidentalis*). כמו כן, אותרו פרטים ספציפיים מצטיינים במשיכת דבורים שיוכלו לשמש לאיסוף זרעים לייצור עצים מצטיינים לכל בית גידול (איזיקוביץ' ושות', 2004). מבין המינים השונים של הסוג איקליפטוס, המין העיקרי והחשוב ביותר מבחינת אספקת אבקה פרחים וצוף בישראל הוא איקליפטוס המקור (דג ושות', 2011), מין שהוכר כמקור דבש מרכזי כבר בשנות ה-50 של המאה הקודמת (זהרי, 1950; לופו, 1994). בשנים האחרונות הוגדר מין זה כפולש (דופור-דרור, 2019), ובלחץ של רשות הטבע והגנים לא רק שנטיעותיו כמעט נפסקו, אלא שהתחילו עקירות רחבות היקף, בעיקר בשמורות טבע ובגנים לאומיים. מעבר לפגיעה בשורה של היבטים (היסטוריים, צל ונוף), הירידה בהיקף שטחי מין זה פוגעת משמעותית בענף הדבורים בישראל. חשוב לציין כי קיימים חילוקי דעות לגבי ההגדרה של איקליפטוס המקור כמין פולש (כהן וריוב, 2016).

שיזף

בישראל נפוצים בבר שני מיני שיזף, שיזף השיח (*Ziziphus lotus*) שפורח באביב, ושיזף מצוי (*Ziziphus spina-christi*) שפורח במספר גלים במהלך הקיץ. שני



איור 2

פריחה של איקליפטוס בהיר קליפה
צילום: דן איזיקוביץ'

של חרוב קפריסאי שניטע בשנות ה-50 כמזון לבהמות, אך האטרקטיביות שלו לדבורים נמוכה, כנראה בשל מיעוט הצוף, והוא הוחלף בחרוב מצוי מקומי מטיפוס חרוב בר, שמהווה מקור צוף מעולה לחודשי הסתיו. ראוי לציין שנטיעה מכוונת של מרעה דבורים תפסה בשנים האחרונות תאוצה גדולה גם במערב אירופה וגם בצפון אמריקה מתוך הבנה שמקורות מזון שופעים ומגוונים חיוניים לקיומה של אוכלוסיית חרקים מאביקים (לדוגמה; Filipiak, 2019; Dmitruk 2021). דעיכת אוכלוסיית החרקים המאביקים מדאיגה בשל צמצום מגוון שטחי מרעה, בבר וגם בחקלאות (Potts et al., 2010). למרות זאת, בהסתכלות על גודל אוכלוסייה ושטח, ישראל היא מהמובילות בעולם בפעילות מכוונת להעשרת מרעה הדבורים וזאת הודות לשיתוף הפעולה ארוך השנים בין ענף הדבורים לקק"ל.

חלק לא מבוטל ממקורות הצוף והאבקה של הדבורים מקורו בצמחים חד-שנתיים. כך נמצא, שניתן להעלות באופן ניכר את שפע הפרחים המספקים מזון לדבורים על ידי רעיית בקר בלחץ רעייה מתון (Shapira et al., 2019). בגליל המערבי נערכה בחינה של צמחים ארומטיים למרעה דבורים, ונמצא כי מרווה משולשת (*Salvia fruticosa*), לבנדר (*Lavandula spp.*), זוטה (*Micromeria spp.*) וצתרה (*Satureja spp.*) הצטיינו, ועשויים להוות מקור לדבש איכותי (ראובן ושות', 2008). הסוג תלתן (*Trifolium*) הוא מקור דבש חשוב בעולם ובארץ. בישראל גדלים מינים רבים של תלתן. ניסיון לבחון זריעת מיני בר של תלתן למרעה

שמשון הרלינגר, סמנכ"ל מועצת הדבש, וארנון דג, כותב מאמר זה, שהיה באותו זמן הרפרנט למרעה דבורים בשה"מ במשרד החקלאות. מתווה הפרויקט כלל: העברת בקשה לקק"ל להכנת שתילים מתאימים על ידי איש מקצוע מטעם ענף הדבורים; גידול השתילים במשתלות קק"ל; חלוקת השתילים למגדלי הדבורים במהלך הסתיו ונטיעה שלהם על ידי המגדלים בשטחים פרטיים או בשטחים שהם מאתרים ביישוב. בכל שנה חולקו כ-100,000 שתילים של צמחי צוף, ובסך הכול ניטעו עד היום סדר גודל של שני מיליון עצים ושיחים למרעה דבורים על ידי מגדלי הדבורים בישראל (איור 3). הפיזור של הכוורנים בכל רחבי הארץ, המוטיבציה שלהם להעשיר את מרעה הדבורים באזור המכוורת שלהם ויכולתם לאתר שטחים פנויים לנטיעות ולטפל בשטחים שניטעו הביאו להצלחת הפרויקט, וכיום יש אלפי חלקות של מרעה דבורים שניטעו במסגרת הפרויקט בכל רחבי הארץ.

הקריטריונים ששימשו לבחירת מיני הצמחים הם שפע פריחה, אטרקטיביות רבה של הפריחה לדבורים (איור 4), עמידות ליושב ויכולת הגעה לפריחה תוך זמן קצר. לנטיעה תועלת רבה נוספת, כמו העלאת זמינות המזון למאביקים נוספים מעבר לדבורי דבש, שיפור הנוף והנוי, אספקת צל, מניעת פלישות לשטחים ועוד. במהלך שנות הפרויקט אותרו עצים מצטיינים בפריחה ובמשיכת דבורים ('איקליפטוס המקור - בית חנניה', 'איקליפטוס סטריקלנדי - נחלים') והם משמשים מקור לאיסוף זרעים. כמו כן, הוברר שמקור איסוף הזרעים העיקרי של קק"ל לחרובים היה מנטיעות



איור 4

דבורים מבקרות בפריחה של איקליפטוס וודורדי שניטע במסגרת פרויקט נטיעות מרעה דבורים
צילום: דן איזיקוביץ



איור 3

תלמידי הקורס לגידול דבורים בפקולטה לחקלאות בנטיעת מרעה דבורים באזור קבוצת כינרת
צילום: יוסי סלבצקי

(1998) להערכת פוטנציאל ייצור דבש של 31–75 ק"ג דבש לדונם. לפי מחיר של 2 דולר לק"ג דבש (המחיר כיום גבוה ביותר מפי שניים), הם הגיעו לתמורה שנתית ממוצעת של 100 דולר לדונם (כ-350 ש"ח לדונם על בסיס שער הדולר בעת כתיבת השורות האלה).

בהמשך נחקר פוטנציאל ייצור הדבש של מינים נוספים של איקליפטוס שעברו תהליך ברירה לנטיעה במסגרת פרויקט נטיעת מרעה דבורים: איקליפטוס קטן נוף ואיקליפטוס טרבוטי בחלקת מרעה דבורים שנטע יהודה קנדל בכפר פינס (Eliyahu et al., 2020). החישוב נעשה גם הפעם על ידי בדיקת ייצור הצוף לפרח, הערכת מספר הפרחים לעץ, הכפלה בצפיפות נטיעה (מספר עצים לדונם) והמרת נפח הצוף למשקל הדבש על בסיס כמות הסוכר בשניהם. נמצא שפוטנציאל ייצור הדבש של איקליפטוס טרבוטי עומד על 327 ק"ג לדונם, ושל איקליפטוס קטן נוף על 526 ק"ג לדונם. רמות גבוהות בהרבה מאשר נמצא בתחילה לאיקליפטוס אדום מצנפת, ותמורה כספית שנתית שמגיעה לכ-1,000 ש"ח לדונם. כדי לשמר את התכונות של עצי איקליפטוס מצטיינים פותחה שיטה לריבוי וגטיבי של עצי עילית (Eliyahu et al., 2020).

את הצלחת פרויקט נטיעת עצים וצמחים למרעה הדבורים לא ניתן לאמוד מבחינה כלכלית, מכיוון שרעיית הדבורים מתבצעת על פני שטח גדול ולא ניתן להגבילן לצריכת צוף אך ורק מצמחים ספציפיים. עם זאת, אין ספק שהפרויקט הביא לשיפור ניכר בבריאות דבורי הדבש בישראל וביצרנות.

דבורים לא עלה יפה, ומסקנת החוקרים הייתה שכדאי להתמקד במינים תרבותיים הגדלים בארץ, תלתן התבור ותלתן הכרמל, אם רוצים לשפר את זמינות המזון לדבורים (דג ושות', 2005). נוסף על כך, נעשו ניסיונות לזריעת שלמון (*Cephalaria* spp.) למרעה דבורים. הצמחים התפתחו והגיעו לפריחה יפה, אבל הנושא לא התבסס כפרקטיקה בחקלאות בישראל.

הערכה כלכלית

ענף הדבורים בישראל אינו מצליח לספק כיום את הדרישה לדבש בישראל, וכמויות הולכות ועולות של דבש מיובאות מדי שנה. הגורם המגביל העיקרי לייצור הדבש בישראל הוא זמינות הצוף, כך שככל שנגוון את מקורות צוף, כך יעלה ייצור הדבש המקומי, ונצטרך לייבא פחות דבש לארץ. במהלך השנים נעשו מספר ניסיונות לבצע הערכה כלכלית של התרומה הכלכלית של נטיעת מרעה דבורים. לופו ואיזקוביץ' (1997) בדקו את ייצור הצוף באיקליפטוס אדום מצנפת (איור 5). העצים של מין זה אינם גדולים, אך מאופיינים בפרחים גדולים מאוד המייצרים כמויות גדולות של צוף. העץ פורח באוגוסט, כאשר אין כמעט מקורות צוף חלופיים. הם מצאו כי כל פרח פורח ארבעה ימים ומפריש במהלכם 4.1 מ"ל צוף בריכוז סוכרים של 9–14% סוכר, כך שבסך הכול הוא מייצר בממוצע 0.48 גרם סוכר. על עץ בוגר גדלים כ-2,000 פרחים בעונת הפריחה, וכך הגיעו דג ושות' 5

סיכום

לשילוב מינים שונים של עצים ושיחים בעלי שפע פריחה, המספקים צוף ואבקת פרחים בנטיעות של קק"ל, חשיבות גדולה לענף הדבורים בפרט ולחרקים מאביקים בכלל. במהלך השנים נצבר ידע רב לגבי התאמת המינים השונים למטרה זו. פרויקט נטיעות מרעה דבורים הוא דוגמה מאלפת לשיתוף פעולה בין ציבור החקלאים (מגדלי הדבורים) לבין קק"ל לטובת העשרת מרעה הדבורים בישראל, וחשוב להמשיך בו. גם בנטיעות ביער ובגינות הציבורי חשוב להביא בחשבון את אספקת הצוף לדבורים ולתת עדיפות לצמחים פורחים המושכים דבורים.



איור 5

פריחה של איקליפטוס אדום מצנפת
צילום: דן איזיקוביץ'

המאמר מוקדש לזכרו של פרופ' דן איזיקוביץ' מהפקולטה למדעי החיים באוניברסיטת תל אביב, מהחלוצים והמובילים של תחום נטיעות מרעה הדבורים בישראל.

מקורות

שמידע א. 2016. מיני היבנט הזרים הפולשים לישראל ולירדן. כלנית, 3. שפיר ש ודג א. 2011. דבש ניגר. בתוך: רייפן ר ורוזן ג (עורכים). האינטליגנציה של התזונה. אימפרס. עמ' 392–395.

Bloch G, Francoy TM, Wachtel I, Panitz-Cohen N, Fuchs S, and Mazar A. 2010. Industrial apiculture in the Jordan valley during Biblical times with Anatolian honeybees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25), 11240–11244.

Chasan R, Rosenberg D, Klimscha F, Beerli R, Golan D, Dayan A, et al. 2021. Bee products in the prehistoric southern levant: evidence from the lipid organic record. *Royal Society Open Science*, 8(10), 210950.

Dmitruk M, Wrzesień M, Strzałkowska-Abamek M, and Denisow B. 2021. Pollen food resources to help pollinators. A study of five Ranunculaceae species in urban forest. *Urban Forestry and Urban Greening*, 60, 127051.

Eliyahu A, Duman Z, Sherf S, Genin O, Cinnamon Y, Abu-Abied M, et al. 2020. Vegetative propagation of elite Eucalyptus clones as food source for honeybees (*Apis mellifera*); adventitious roots versus callus formation. *Israel Journal of Plant Sciences*, 67, 83–97.

Filipiak M. 2019. Key pollen host plants provide balanced diets for wild bee larvae: A lesson for planting flower strips and hedgerows. *Journal of Applied Ecology*, 56(6), 1410–1418.

Nuru A, Awad AM, Al-Ghamdi AA, Alqarni AS, and Radloff SE. 2012. Nectar of *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd (Rhamnaceae): dynamics of secretion and potential for honey production. *Journal of Apicultural Science*, 56(2), 49–59.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, and Kunin WE. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(6), 345–353.

Shapira T, Henkin Z, Dag A, and Mandelik Y. 2020. Rangeland sharing by cattle and bees: moderate grazing does not impair bee communities and resource availability. *Ecological Applications*, 30(3), e02066.

איזיקוביץ' ד, סמוכה י, דג א ובן דוב י. 2004. בחירת מיני איקליפטוסים לנטיעה כמרעה דבורים. **ילקוט המכורות**, 46, 62–77.

גינדל י. 1956. **אימוץ צמחים**. עם עובד.

דג א. 1996. 'ארץ זבת צוף' – מרעה דבורים בישראל. **השדה**, ע"ו, 53–55.

דג א. 2015. **התרומה הכלכלית של דבורת הדבש להאבקת גידולים חקלאיים בישראל**. דבורים והאבקה, הכנס העשרים ושלושה לזכרו של זוריק לב, חוברת תקצירים. עמ' 1.

דג א, ויינשטיין א ואיזיקוביץ' ד. 2011. איקליפטוס למרעה דבורים. בתוך: ויינשטיין א, איקליפטוס בע"מ. עמ' 98–111.

דג א, קמרי י וגילויי ש. 2005. בחינת שימוש בתלתן למרעה דבורים בתנאי ישראל. **ילקוט המכורות**, 46, 36–45.

דג א, קמרי י, זיידמן א ואפרת ח. 2000. אגירת דבש הדורים במכורות צריפין בשנים 1995–2000. **ילקוט המכורות**, 43, 85–90.

דג א, רגב א ובן יוסף י. 1998. נטיעת מרעה לדבורים – נדאיות כלכלית למשק ולענף המכורות בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 4, 234–235.

דפורה דרוו ז"מ. 2019. **הצמחים הפולשים בישראל**, מהדורה שנייה. ירושלים: דן פרי.

הלר א, מעוז ג, קגן ס, דג א, זינגר א, אמארה ר, ושות'. 2016. **צמחים צופניים למרעה דבורים**. שה"מ, משרד החקלאות.

זהרי מ. 1950. צמחי הדבש של ארץ ישראל. בתוך: בן נריה א (עורך) **גידול דבורים**. הוצאת ארגון מגדלי דבורים בישראל. עמ' 241–263.

זהרי מ ופאהן א. 1947. **צמחי הדבש של שפלת החוף**. הוצאת ארגון מגדלי דבורים עבריים בארץ ישראל.

חומסקי ש. 1984. **עץ פרי למינהו**. גבעתיים: מסדה.

כהן ע, ורוב י. 2016. האם איקליפטוס המקור הוא מין פולש בישראל? **כלנית**, 3. <https://www.kalanit.org.il/?p=6628&preview=true>

לופו ע. 1994. כפתור וכרם, הפריחה השופעת של איקליפטוס המקור בשנת 1993. **ילקוט המכורות**, 30, 22–23.

לופו ע ואיזיקוביץ' ד. 1987. איקליפטוס אריתרוקוריס – צמח דבש ואבקה. **השדה**, ס"ז, 2367–2363.

קגן ס וצירקסקי פ. 2013. **צמחי נוי צופניים לדבורים**. בהוצאת קק"ל והמועצה לייצור ושיווק דבש.

ראובן נ, סלבצקי י ופויטיבסקי א. 2008. חלקת צמחים ארומטיים במצפה מנות להפקת דבש. **ילקוט המכורות**, 48, 111–114.



דבורה על פריחה זכרית של חרוב צילום: יוסי סלבצקי



המצפור הגדול ביער שווייץ

עדי קליגר

מרחב צפון, קק"ל
adik@kkl.org.il

במצפור הושקעו 2.5 מיליון ש"ח, כמיליון ש"ח מתוכם תרומת קק"ל שווייץ. מחלקת התכנון של מרחב צפון בקק"ל ניהלה את תכנון הפרויקט. התכנון נעשה על ידי אדריכל הנוף אלי מסלובסקי, ואת הביצוע ניהלה יחידת הביצוע של מרחב צפון. האתר הקודם פורק, חלק ממנו נקבר מתחת למיליו אדמה, ובמקומו נבנה מצפור מרחף הנותן לקהל המבקרים את התחושה שהם עומדים בין שמיים וארץ. המצפור מחופה אבן בזלת מקומית ומקורה בפרגולת פלדה, שמחזיקים אותה עמודים הממוקמים בזוויות שונות. בפרגולה חתוכות בחיתוך לייזר צורות של עלי איקליפטוס, סוג המאפיין את יער שווייץ. כך נוצר מצפור מוצל המקרין את השתקפות העלים על עמוקות הנתועות היטב בעומק הקרקע. בהמשך מתוכננים גם מקומות ישיבה, אלמנט שירד מהביצוע המקורי בעקבות עלויות בלתי צפויות שהתווספו במהלך הביצוע.

יער שווייץ מכסה את המדרון התלול היורד מרמת פורייה לטבריה ולכינרת. שיאי המתלול מתנשאים לגובה של יותר מ-400 מטר מעל לכינרת, דבר המבטיח למטיילים נופים מרהיבים לעבר האגם, הגולן, החרמון והרי הגליל. היער ניטע בתקופת המנדט הבריטי, ולאחר מכן חודשו הנטיעות על ידי קק"ל כדי לשמור על הקרקע מפני סחיפה בתקופת החורף. ביער עוברת דרך נוף באורך 6 ק"מ, ולאורכה חניונים ותצפיות. אחד האתרים החשובים ביער הוא המצפור הגדול, אתר שנבנה בתרומת קק"ל שווייץ בשנת 1986 והפך להיות נקודת התכנסות, שהייה ותצפית למטיילים באזור.

האתר שודרג מספר פעמים במהלך השנים, אך בנובמבר 2018 קרס בו קיר משמעותי והוא נסגר למבקרים. דו"ח שהוכן הבהיר שהאתר אינו בטיחותי, והחל תכנון מחודש שלו. מספר חלופות נבחנו, ולבסוף הוחלט על בניית מצפור מרכזי ביער. התכנון והביצוע ארכו מעל לשלוש שנים.



השתקפות הצל הייחודית של הפרגולה במבט מכיוון דרום-מערב, המשקיף לטבריה ולכינרת, יוני 2022
צילום: ארכיון הצילומים של קק"ל



יער שווייץ, מבט מכיוון צפון-מזרח, יוני 2022
צילום: ארכיון הצילומים של קק"ל

יער של ספרים

גלעד אוסטרובסקי

אגף הייעור, קק"ל
Gilad0@kkl.org.il

המצאת הטבע מאת אנדריאה וולף, הוצאת שוקן, 2017

בשובו ממסעו הגדול בדרום אמריקה הביא עימו את האוסף הגדול ביותר (בכך התגאה) שכלל 6,000 פריטים. הוא הותיר למדע מאגר עצום של מידע ונתונים, סיפורים וציורים, אך הדבר העיקרי שמייחד אותו, ובו היה חלוץ של ממש, הוא ההסתכלות הרחבה וראיית הטבע כאורגניזם אחד גדול, כמכלול עשיר, שסודו הגדול טמון בקשרי הגומלין בין מרכיביו. ספרו הנודע ביותר, 'קוסמוס', הוא ניסיון שאפתי לספק הסבר מאוחד של הטבע. על פסגת הצ'מבורסו (הר הגעש הגבוה באקוודור של ימינו) הוא טבע חזון חדש של אחדות הטבע, הבני כל כולו מקשרים גלויים וסמויים. אנדריאה וולף מציינת שהומבולדט הוא אבי המושג 'מערכת אקולוגית', והיה הראשון שטבע מושג יסוד שקנו אחיזה רחבה, שהמשותף להם הוא ראיית כדור הארץ כאורגניזם אחד, מארג בלתי ניתן להתרה של קשרי גומלין מסועפים. הומבולדט נולד בברלין למשפחת אצולה פרוסית, אך פרקי זמן נכבדים הקדיש למסעות, ואת רוב ימיו הבוגרים עשה בפריז. הוא האריך ימים, וחי עד גיל 89 (נפטר בשנת 1859). בכל אשר הלך, חיפש את הקשרים הרחבים. הטבע הפעים אותו, והוא כתב את קורות מסעותיו בעשרות כרכים. תרומותיו המדעיות מתפרסות על תחומים רבים, בהם גאולוגיה, בוטניקה, זואולוגיה, אסטרונומיה, אוקיינוגרפיה, גאוגרפיה ועוד. עשרות תגליות רשומות על שמו. הוא הראשון שזיהה קווי דמיון בין החוף המערבי של אפריקה לחוף המזרחי של אמריקה, והטרים את רעיון נדידת היבשות

כותרת המשנה של הספר מלמדת על תוכנו: הרפתקאותיו של אלכסנדר פון הומבולדט הגיבור האבוד של המדע. הספר שכתבה אנדריאה וולף, עיתונאית וסופרת, בשנת 2015 זכה להצלחה רבה ותורגם ל-24 שפות. הוא נקרא בשקיקה כסיפור מרתק, העוקב אחר פרשת חייו של הומבולדט (1769–1859) תוך התמקדות במסעותיו הגדולים לדרום אמריקה ואסיה וחשיפת השפעתו הרבה על מדינאים, מדענים ואנשי רוח. אולם, כמה מאיתנו יודעים לומר מי היה האיש ומה היו מפעלותיו? נזכרתי בזרם הומבולדט, הזרם הקר באוקיינוס השקט, לאורך חופי צ'ילה ופרו, המביא עימו שלל דגה ומשפיע על האקלים המקומי. אך לא רק הזרם המפורסם נקרא על שמו, אלא עשרות רבות של אתרים גאוגרפיים ובהם פסגות הרים, נהרות, צמחים ואף יישובים. הנצחת שמו של הומבולדט (Alexander von Humboldt) ברחבי העולם פותחת צוהר לקורותיו של אדם יחיד במינו, שהיה חקרן בלתי נלאה ובעל יצר הרפתקני מאין כמוהו. הומבולדט היה דמות גדולה מן החיים, מדען – סייר – חוקר בעל סקרנות עצומה וידע במגוון רב של תחומים. הוא ערך מסעות באמריקה, באסיה ואירופה, אסף צמחים, סלעים ושרידי בעלי חיים, דגימות קרקע ומאובנים. הוא כתב הרבה והשכיל להשאיר אחריו ספרים עבי כרס (אף אחד מהם לא תורגם לעברית) שהיו פריצת דרך מבחינת הממצאים הרבים, בסגנון הכתיבה ובעיקר בתפיסה הכוללת שהוא פיתח.

שלטה במרחבי דרום אמריקה, חמסה את אוצרות הטבע והתאנתה לילידי המקום באכזריות רבה. הומבולדט לא היה אדיש לכך, הוא כתב נגד פגעי הקולוניאליזם, טען בעקביות שהקולוניאליזם איננו מוסרי, פוגע בחירותם של בני האדם, והורס את הטבע והתרבות המקומית. כאשר נפגש עם תומס ג'פרסון, הנשיא השלישי של ארה"ב, איש אשכולות וחובב מדע, הם חלקו רעיונות ונהנו זה מחברתו של זה. למרות זאת, הומבולדט לא היסס לבקר אותו על משטר העבדות השורר בארה"ב, וראה בכך חרפה מוסרית. הוא היה איש נודע, שרבים שיחרו לקרבתו וביקשו לשמוע את מוצא פיו. הוא לא היסס לבטא את תפיסת עולמו הפתוחה, המתנגדת לעריצות, וכן ראה מחויבות לפעול למען העמים המדוכאים, בפרט בדרום אמריקה.

צד מעניין נוסף בכתיבתו המדעית היה היחס הרב שנתן לצד האסתטי של הכתיבה. בספרו 'מראות הטבע' הוא יצר סוגה חדשה, ושילב בכתיבתו תיאורי נוף מפורטים, תצפיות מדעיות לצד מילות השראה ופיוט. הלחן של הספר היה חשוב לו לא פחות מתוכנו. הרוח הייתה חלק מן המדע, ולא ניתן להפרידה ממנו.

השפעתו על אנשי מדע ופוליטיקה הייתה חובקת עולם. סימון בוליבר, המשחרר הגדול של צפון היבשת הדרומית, הושפע ממנו עמוקות, ונעזר בספריו כדי ללמוד לעומק את הנתונים הפיזיים והגאוגרפיים של חבלי הארץ שפעל בהם שנים ספורות לאחר מסעו של הומבולדט. הנרי דייויד ת'ורו, בעל וולדן, הושפע מכתביו. הומבולדט היה גם דמות פעלתנית בחצרו של מלך פרוסיה. גתה, המשורר הגרמני הנודע, היה ידידו, וקרא את ספריו בשקיקה. הם הרבו להתכתב, והשפיעו איש על רעהו.

הקריאה בספר מסחררת מעוצמת אישיותו ונמרצותו. הספר מזמן גם עיון בהתפתחותם של רעיונות מדעיים ופילוסופיים, וכן היכרות מחודשת עם דמויות מרכזיות בנות התקופה, תוך שהוא מאיר הקשרים חדשים ומעניינים.



Naturgemälde. האיור הופיע בספרו של הומבולדט 'חיבור על הגאוגרפיה של הצומח' (מתוך en.wikipedia.org/wiki/Alexander_von_Humboldt)

שנוסח רק כמאה שנה לאחר מכן. אחת מיצירותיו הנודעות ביותר היא הנתורגמלדה (Naturgemälde). הוא צייר אותה לאחר הטיפוס על הר הצ'ימבורסו באקוודור של ימינו, והיא נכללת בספרו 'חיבור על הגאוגרפיה של הצומח', שהתפרסם בפריז ב-1807. זהו 'ציור טבע' ובו מבט על נוף הצ'ימבורסו, וחלקו העיקרי מוקדש להצגת חתך של ההר, שרשומים בו בצפיפות נתונים מטאורולוגיים, סוג המסלע, הקרקע, החי והצומח. הנתורגמלדה מציגה על גבי גיליון אחד תמונה עשירה ורחבה, ומאפשרת להבין הקשרים מרחביים באופן נגיש ובהיר. 'ציור הטבע' מבטא תובנה עמוקה בדבר קיומן של חגורות צומח, ומבטא היטב את הקשר בין האקלים, הרום והמסלע.

הספר נקרא בשקיקה, מכיוון שהמחברת משכילה להעביר את דמותו הסוחפת והמסעירה של הומבולדט. היו לו אישיות יוצאת דופן, יכולות שכליות וגופניות, מרץ בלתי נלאה, לצד נדיבות לב ורצון להפיץ את הידע ולחלוק אותו עם האנשות ולמענה. ההרפתקנות שלו היא שהביאה אותו להישגים כבירים. המסע הגדול שלו לדרום אמריקה (1799-1804) תועד בשלושים כרכים. הוא היה עתיר סכנות וקשיים גדולים, והומבולדט גילה בו מספר תגליות חשובות. במסעו בוונצואלה, בעמק ארגואה, הוא הבחין בתופעה רחבה של בירוא יערות, ומייד הבין את השפעותיה השליליות: סחיפה מואצת של קרקע, בלייה והתדלדלות. הוא זיהה גם את ההשפעה השלילית של בירוא היערות על האקלים, והזהיר מפני הפגיעה האנושה של האדם בסביבה, התריע על הברוטליות שהאדם נוהג בה, ועל השלכות מעשיו שיפגעו בדורות הבאים (מושג שהפך ברבות הימים להיות אבן ראשה של התנועה הסביבתית במאה ה-20).

ההבנה שלו, שהטבע פגיע ושהאדם נושא באחריות לכך, הייתה מנוגדת לתפיסה השלטת בזמנו, שלפיה האדם הוא שליט הטבע ותפקידו לשכללו ולשפרו. אנשי מדע ופילוסופיה דגלו בתפיסה שהאדם ישליט סדר בתווה ובוהו של הטבע. דה טוקוויל, למשל, אמר ש"רעיון ההרס", הנפת הגרזן בידי האדם על יערות אמריקה, הוא שהעניק לנוף את היחניניות שלו. היו באמריקה שהאמינו שכריתת יערות תשפר את זרימת האוויר ואת איכותו. הומבולדט, לעומתם, טען שיש להתבונן בטבע וללמוד כיצד כל החוטים נשזרים, ושעל האדם לפעול על פי חוקי הטבע ולא כנגדם, ובוודאי שלא להכניעם.

אני מוצא בדמותו ייחוד נוסף. הוא היה בעל עמדה מוסרית שדוגלת בחירות, ולא היסס להביע את דעתו. במושגים של ימינו ניתן לומר שהיה ליברל מהמעלה הראשונה, ולדעתי, הדבר נבע מכך שהוא הרגיש חלק מן הטבע. ההתבוננות שלו על עולם החי והצומח הייתה בתוך הטבע ללא הטיית ודעות קדומות, והוא חש שבני האדם הם חלק מן המארג הגדול הזה. באותם ימים של ראשית המאה ה-19 ספרד



אז והיום

גיל סיאקי¹ | לאו וולין² | נדב אמיר³

- 1 מרחב דרום, קק"ל
- 2 אזור דרום, השירות ההידרולוגי, רשות המים
- 3 אזור ההר המערבי, השירות ההידרולוגי, רשות המים

נחל גוברין – שיקום רצועת נחל וניטור מפלס המים

פעולות שיקום

קק"ל רואה חשיבות רבה בפעולות שיקום נחלי אכזב בצפון הנגב ומשקיעה מאמצים רבים בשיקומם של נחלים ראשיים וערוצי משנה באזור זה, מנחל האלה בצפון ועד לנחל באר שבע בדרום.

נחל גוברין, הזורם במרחב זה, מנקז שטח של כ-204 קמ"ר, החל מהר חברון (אזור הכפרים דורא ותפוח) ברום של כ-850 מטר מעל פני הים, ועד לנקודת החיבור לנחל לכיש לאחר כ-48 ק"מ. קטע הנחל הנמצא מזרחית למחסום תרקומיא מתאפיין בטרסות אבן חקלאיות במדרונות, שהמקומיים מגדלים בהן בעיקר ירקות ומטעי זיתים. קטע הנחל ממערב למחסום מתאפיין בעיקר בשדות פלחה ובמטעים המשתרעים לאורך שתי גדות הנחל.

משנת 2006 החלו נטיעות של עצים רחבי עלים בגדות נחל גוברין. הנטיעות בוצעו בשיתוף מועצה אזורית יואב, רשות ניקוז שורק-לכיש, משרד החקלאות ופיתוח הכפר והיישובים הסמוכים לנחל. מיני העצים שניטעו הם: שיזף מצוי, אלה אטלנטית, חרוב מצוי, עוזרר אדום, מילה סורית, כליל החורש, פיקוס התאנה ושקד מצוי. פעולות השיקום כללו הרחקת עיבודים חקלאיים מרצועת הנחל, טיפול בפסולת, יצירת דרכי יער משני צידי הנחל, הכנת תלמים, לקליטת מי נגר, נטיעות וטיפול בשתילים (חיפוי הקרקע,

שרוול, השקיה, גיזום וכיסוח העשבייה). כמו כן, בוצעה הסדרת בריכת צאנן (איור 1) שהיא בריכה עונתית שנוצרה בעקבות הקמתו של סכר קטן באפיק נחל גוברין, וכן בוצע טיפול בטיחותי בבאר נאווה המצויה סמוך לערוץ הזרימה.



איור 1

בריכת צאנן לאחר השיקום, 2022
צילום: איציק משה.

ובשכבות קרקע בעלות מוליכות הידראולית טובה. עומק מי התהום רדוד יחסית, ונע בטווח שבין 30 מטר לבין מופע זרימה על פני השטח (לדוגמה, באר שם טוב ובריכת צאנן). המשרעת בין שיא הרום של מפלסי מי התהום (פברואר-אפריל) שנמדד לבין שפל במפלסי מי התהום (דצמבר) הגיעה לכ-6 מטר, וככל שנעים מערבה, היא מצטמצמת. בשל מאפייני הזרימה בתת-הקרקע קיימת שונות במהירויות התגובה בבארות השונות ובקצבי העלייה והירידה במפלסי מי התהום.

מיקום הרום של מפלס מי התהום לעומת הרום של נקודות שפיעת מים, כגון בריכת צאנן ובאר שם טוב, משפיע מאוד על מאפייני הזרימה שעל פני השטח. ירידת מפלס מי התהום מתחת לסף מסוים באה לידי ביטוי בהפסקה ואף בהתייבשות של הזרימה על פני השטח. סף מסוים זה שונה מאתר לאתר.

בתצלומי האוויר המצורפים (איור 2, איור 3, איור 4) ניתן לראות את השינויים שחלו בפני השטח משנת 1945 ועד היום.

באיורים 5, 6 ניתן לראות את התפתחות העצים בשטח במהלך השנים.

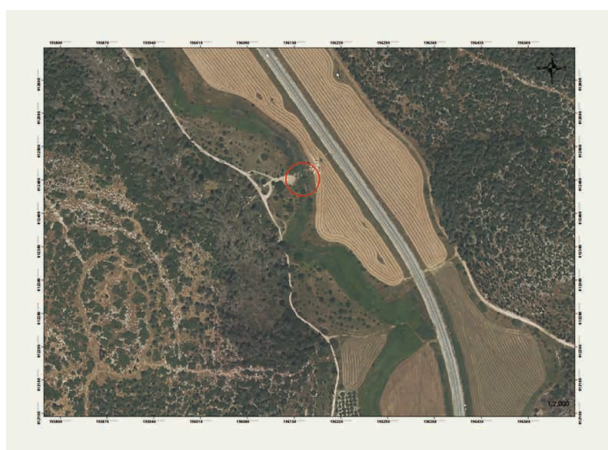
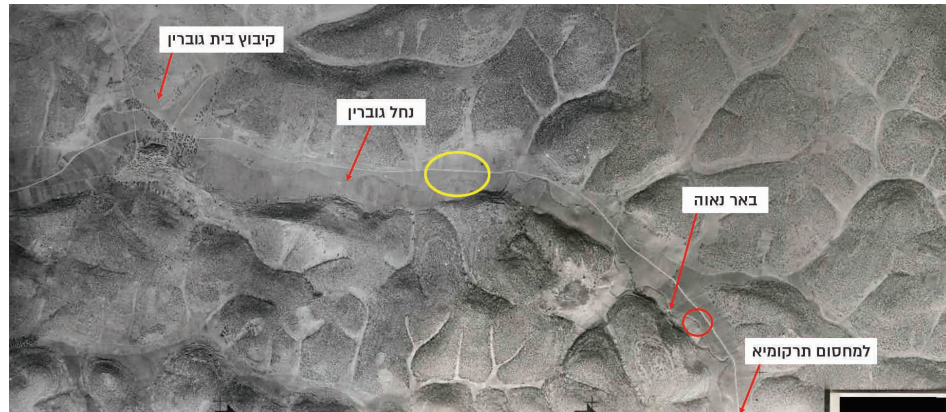
ניטור מפלס המים

כחלק מפעולות השיקום של הנחל הורחב באזור ניטור מפלס מי תהום, שהחל בשנות ה-60, במטרה להבין את התופעות של שפיעת מים עונתית בנחל. הניטור בנחל גוברין מתבצע על ידי צוות ניטור של השירות ההידרולוגי ברשות המים, כחלק משיתוף הפעולה עם קק"ל (איור 7). מי התהום, הנצפים בבארות הרדודות באזור (כדוגמת באר שם טוב, הנמצאת מצפון ליישוב אמציה שבחבל לכיש) ומהווים מים זמינים לצמחייה, זורמים בעיקרם בסדקים

איור 2

קטע רצועת נחל גוברין, 1945

תצ"א המראה את קטע הנחל ממחסום תרקומיא ועד לקיבוץ בית גוברין חשוף מצומח עשבוני, ללא צומח מעוצה, ומעובד חקלאית מגדה לגדה. מיקום קידוח מקורות מסומן בצהוב, ומיקום בריכת צאנן באדום. מקור: מפ"י, המרכז למיפוי ישראל.



איור 4

קטע רצועת נחל גוברין באזור בריכת צאנן, 2022

צילום האוויר נערך 16 שנים לאחר נטיעה. הבריכה מסומנת באדום. מקור: מפ"י, המרכז למיפוי ישראל.



איור 3

קטע רצועת נחל גוברין, מערבית לקידוח מקורות, 2022

צילום האוויר נערך 16 שנים לאחר הנטיעה. קידוח מקורות מסומן בכחול. מקור: מפ"י, המרכז למיפוי ישראל.



איור 5

עצים צעירים בנחל גוברין, 2012

עצים צעירים בני 6 שנים לאורך רצועת נחל גוברין, מערבית לקידוח מקורות. צילום: איציק משה.



איור 6

עצים בוגרים בנחל גוברין, 2023

עצים בוגרים בני 17 שנים לאורך רצועת נחל גוברין, מערבית לקידוח מקורות. צילום: גיל סיאקי.



איור 7

מדידות באזור השיקום של נחל גוברין עליון

פעולות לסימון מיקום מדויק ומדידת רום מים מוחלט בעזרת GPS.
צילום: גיל סיאקי.



עצים ששווה להכיר

אמיר הרמס

אגף הייעור, קק"ל
Amirhe@kkl.org.il

עצי שיזף בתל חדיד

דבורי דבש, מבקרים אותם. הפירות ירוקים, ונעשים אדומים בחודשי הקיץ. ניתן לאוכלם, אולם טעמם שנוי במחלוקת. בחלק הצפוני של יער בן שמן סמוך לתל חדיד, בפינה נסתרת הצופה אל מישור החוף, נמצא חניון השיזף העתיק. במקום גדלים מספר עצי שיזף ותיקים, שגילם מוערך בכ- 250 עד 300 שנה, וגובהם מגיע לכעשרה מטר. למרשים מביניהם היקף גזע של כארבעה מטר, וכדי להקיפו יש צורך בשלושה אנשים.

שיזף מצוי (*Ziziphus spina-christi*), המכונה בלשון העממית עץ הדומים, הוא ממשפחת האשחריים. זהו עץ קוצני ירוק-עד, אך במקומות קרים הוא עשוי להשיר את עליו בחורף. מוצאו טרופי-סודני, והוא שכיח בכל אזורי הארץ, למעט אזור ההר מעל 500 מטרים. המין הוא בעל גזע בודד או רב-גזעים, וענפיו עקומים וקוצניים. הפריחה מתרחשת ממרץ עד אוקטובר. הפרחים אינם בולטים, אך מפרישים הרבה צוף, וחרקים רבים, בייחוד



חניון השיזף העתיק, 2023. השיזף עומד מעל בור מים, שמסביבו יישוב קדום נטוש. סמוך לחניון עובר סינגל אופניים חדיד צילומים: אמיר הרמס

שימור קרקע ביערות קק"ל – ריצה למרחקים ארוכים

שיחה עם חיים סהר, מתכנן שימור קרקע ודרכים, מרחב מרכז

עדי נוי אינר

מחלקת תכנון, מרחב מרכז, קק"ל
AdiNoy@kkl.org.il

הוצאתם מן השטח, חריש וקלטור בניצב לקווי גובה, נסיעה של כלי רכב ממונעים, כמו טרקטורונים ואופנועי שטח, וגם מרעה לא מבוקר, גורמות לחשיפת פני השטח מצמחייה. כאשר יש נגר עילי (לרוב בעקבות גשם), מתחילה פעולה מואצת של סחיפת קרקע. הרוח היא גורם זניח לסחיפת קרקע ביערות, אך יש לה השפעה משמעותית בשטחים חקלאיים שחורשים בהם את הקרקע היבשה. ככל שמתמעטת הקרקע, בית הגידול מתדלדל, ותפקודו יורד – בין אם כמצע להתבססות יער או לשימושים חקלאיים.

מהי תרומתו של היער לשימור קרקע?

צומח, מכל סוג שהוא, מגן על הקרקע מפני סחיפה והסעת חומרים. היער והחורש מהווים גורמים שממתנים ואף מונעים סחיפת קרקע. שטח מיוער או נטוע בכיסוי של כ-70% ומעלה יכול לשאת אירועי גשם של עד 800 מ"מ גשם בעוצמות בינוניות בשנה, ללא סחיפת קרקע כלל, להוציא אירועים קיצוניים.

פעולות של שימור הקרקע במעלה אגן ההיקוות (כלל השטח התורם נגר לערוץ הנחל שמנקז אותו) מונעות הצפות במורד האגן, ומשפרות את בית הגידול. הן מאפשרות לצמחים בכלל, ולעצים בפרט, להתפתח. הימצאות הקרקע מאפשרת התפתחות של מערכת אקולוגית בריאה ועשירה יותר. במקרה של סחיפת קרקע לשרושים קשה יותר לפלס

מה משמעות המונח "שימור קרקע"?

שימור קרקע הוא תחום המתייחס לייצוב הקרקע ולמניעת סחיפתה. הכוונה לא לשמירה על הקרקע מההיבט הביטחוני, אלא לשמור על הקרקע שתישאר במקומה, כלומר לבצע פעולות למניעת סחיפה של הקרקע לכיוונים לא רצויים וזאת על ידי צמצום ההפרעות הגורמות לסחיפה.

מדוע חשוב לשמור על הקרקע?

הקרקע היא התשתית הבסיסית לצמחייה, והיעדרה מונע או מפחית בצורה ניכרת התבססות של צמחים, בעיקר עצים. הדבר משפיע על המערכת האקולוגית, על המגוון הביולוגי וכן על האפשרות לפתח באזור חקלאות או יער. הבעיה של דלדול קרקעות היא בעיה עולמית, וסובלות ממנה מדינות מפותחות ומדינות עולם שלישי. הגורמים המרכזיים לדלדול הקרקעות הם כריתה וביורא יערות, וכן עיבוד חקלאי לקוי שלא מתחשב בהיבטים של שימור קרקע. אפשר לשמר את הקרקע, בין השאר, באמצעות שיטות עיבוד משמר נגר ו"אי-פליחה", כלומר חריש בניצב לכיוון המדרון.

מהם הגורמים לסחיפה של קרקע?

הגורם העיקרי לסחיפת הקרקע הוא מים. פעולות אנושיות, כמו גרירת עצים לאחר שנכרתו ומעבר של מיכון כבד לשם

פעולת דילול, שהיא כריתה של עצים יבשים ביער או כריתה של עצים בשל צפיפות היער והוצאתם מתחום היער על ידי גרידה, גורמת לחריצת הקרקע ויוצרת ערוצי זרימה וסחף קרקע. פריצת דרך ביער גם היא משנה את משטר המים בסביבה בהשוואה לשטח טבעי לא קטוע. זרימת הנגר העילי משתנה, המים נאספים בדרך שנפרצה, וזורמים ממנה בצורה מרוכזת, בייחוד אם השיפועים גדולים, וכך נוצר חירוף של הקרקע.

דוגמה נוספת היא הקמת חניונים. כאשר הם אינם מתוכננים כראוי, נוצרים שני סוגי מפגעים. אם הם מוגבהים מסביבתם, הם תורמים מי נגר רבים למורד החניון ובעקבות זאת גם לסחף של קרקע. לחלופין, אם החניונים ממוקמים באתר נמוך, הם קולטים נגר ובעקבותיו סחף של קרקע, מה שהופך את החניון לשלוליות בוץ עתירת תחזוקה.

גם פריצת שבילי אופניים כמו סינגלים גורמת לשינוי משטר הזרימה של הנגר העילי. נסיעה בסינגל יוצרת אפקט של הידוק הקרקע וכן חריץ זרימה המתעל את מי הנגר לתוואי הסינגל. לכן רכיבה על אופניים, אך בעיקר נסיעה של רכבי שטח ואופנועים בשבילים שאינם מסומנים, יכולות לגרום ליער נזק רב מבחינת שימור קרקע, וזאת נוסף על הנזקים הסביבתיים והפיזיים שהן גורמות.

ריכוז מי נגר ממקורות עירוניים או מתשתיות פיזיות ביערות יוצר מפגעי ניקוז חמורים, כמו סחיפת קרקע ופגיעה בדרכי יער, בחניונים ובתשתיות. על כן, חשוב לשלב התייחסות להיבטי שימור קרקע בתכנון כל אלמנט ביער. חשיבה על שימור קרקע נדרשת בשלב התכנון, בשלב הביצוע וכן בשלב הממשק כדי לצמצם את השפעות ההפרה ולמנוע נזקים עתידיים.

כיצד מוטמעים היבטי שימור קרקע בתהליכי תכנון?

מתכנני שימור הקרקע מעורבים בהליכי התכנון השונים ומאירים את עיניהם של המתכננים מבחינת היבטים של שימור הקרקע במגוון פעולות התכנון, ולאחר מכן בליווי הביצוע והתחזוקה. העיקרון הוא למעט ככל הניתן בהתערבות בתכנון שטחים פתוחים לא מופרים – לדוגמה, לא נוגעים בערוץ טבעי אלא אם כן הוא מופר או יכול למנוע נזק במורד האגן. כבר נתנו קודם לכן דוגמאות למקרים שהתערבות יכולה לגרום לפגיעה בקרקע ולעלייה ברמת הסחף.

אפרט מעט על רעייה: לחץ רעייה הגבוה מכושר הנשיאה של השטח מביא להסרת כל הכיסוי הצמחי ובעיקר העשבייה, ומאפשר תהליכים של סחיפת קרקע. גידור של אזור הרעייה מגביל את הטיפול בדרכים, ומשפיע על כיוון התנועה של כלי רכב, אנשים ועדרים, שגם להם השפעה על הנגר. מסלולי ההליכה הקבועים של העדר (מרעולים) שהופכים לתעלות מים, מכלאות, אזורי המרבץ ובעיקר מקורות מים – כל אלה יוצרים חירוף בקרקע שמשנה את

את דרכם, המינרלים והמים פחות זמינים, ויש גם השלכות נוספות.

כאשר הקרקע מחופה בצומח, היא נשמרת. לאחר הפרה של פני הקרקע כמו שרפה או פליחה, הקרקע חשופה מצמחייה, ומים המגיעים משטחים תורמי נגר יוצרים סחף שמגיע עם המים לנקודה במוצא אגן הניקוז. אחת ממטרות הפעילות של קק"ל היא ויסות שיטפונות ומניעת סחיפה. מטרה זו מיושמת, בין היתר, על ידי נטיעת שטחים בכל אגן ההיקוות.

מה ההבדל בין שימור קרקע לשימור נגר?

שימור קרקע ושימור נגר הם שני דברים שונים הכרוכים זה בזה. אני מעדיף להשתמש במושג "ניהול נגר". לא תמיד נרצה לשמור את מי הגשמים, לעיתים עדיף להפנותם הלאה כדי למנוע נזקים לרכוש ולנפש. ניהול נגר נכון מאפשר לשמר את הקרקע ולמנוע נזקים. בקרב מתכנני ניקוז יש תפיסה רווחת שיש "להיפטר מהמים" בדרך הקצרה ביותר, המהירה ביותר והזולה ביותר, והתוצאה היא שהמים גורמים למפגע. אולם בקק"ל התפיסה היא להפוך את המים "ממפגע למשאב". נגר שמגיע באופן לא מבוקר גורם לנזקים כבדים, כגון התמוטטות עצים, סחיפת קרקע ופגיעה במתקנים, בחניונים, בדרכים, בתשתיות ועוד. כאשר ננהל את הנגר כראוי, נוכל לשמור על הקרקע, למנוע נזקים, להשקות ולהעשיר את מי התהום.

באופן טבעי הגשם יורד על כל אגן ההיקוות, והנגר מגיע לערוצי משנה ומתנקז לאגן מרכזי – לנחל הראשי. אם מתקיימים באגן ההיקוות בנייה, פיתוח תשתיות או דברים מסוג זה, פני השטח נאטמים, וכמות הנגר הולכת וגדלה, וכך מגיעה כמות מים גדולה עם אנרגיה גבוהה היוצרת סחף רב. במקרים האלה יש חשיבות לבניית "מתקני השקטה והאטה", כגון טרסות (מדרגות) וסכרונים, באזורים שונים באגן ההיקוות, ש"שוכרים" את האנרגיה ומפזרים את המים באופן שממזער את סחף הקרקע.

חשוב לציין ששימור הקרקע לא הומצא בקק"ל, אבות אבותינו כבר יישמו אותו. אפשר לראות זאת בבניית הטרסות בהרי ירושלים וגם אצל הנבטים בנגב.

תוכל לספר על שילוב היבטי שימור קרקע בתכנון וניהול היערות?

לצורך נטיעת יערות ותחזוקתם קק"ל מבצעת פעולות המשנות את פני השטח ביער, וכוללות הפרה של השטח וקרום הקרקע. בשל כך, יש צורך לדאוג להיבטי שימור הקרקע, למשל בתכנון ובהכנת שטחים לנטיעה, בתכנון דרכים, בתכנון חניונים, בהנחת תשתיות כמו קווי מים, בממשק יערני, ברעייה ועוד. כל שינוי קטן בפני השטח עלול לגרום לסחיפת קרקע.

כיצד פעולות יערניות יכולות להשפיע על שימור הקרקע?

ומהנדס שימור קרקע אבא ניב ז"ל, ובמסכת חולין כתוב דבר דומה: "אמר שמואל מאן דסייר נכסיה כל יומא משכח אסתירא" – אדם המסתובב ורואה את הנזק בתחילתו ומתקנו, מרוויח מטבע, כלומר ייחסך ממנו נזק רב בעתיד.

כיצד הגעת לעסוק בתחום?

אחרי הצבא עבדתי בסיני כחובש מלווה טיולים. כשלמדתי את מסלולי הטיול התחלתי להדריך בעצמי, והרגשתי שחסר לי ידע בסיסי. אנשים המליצו לי ללמוד גאוגרפיה – על הרים, נביעות מים ואנשים. התחלתי ללמוד גיאוגרפיה, אבל בשנה השנייה ללימודי הכרתי את המכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית בירושלים, ועברתי לשם – תוך העמקה בנושאי קרקע ומים, בדגש על שימור קרקע. פרופ' אהרון יאיר הקים את המכון לחקר המדבר ועסק בתחום, וזה מצא חן בעיניי. רציתי להמשיך ללמוד, אבל הייתה זו תקופה של משבר כלכלי, והיה עליי לפרנס משפחה עם שלושה ילדים. כך הגעתי לקק"ל והשתלבתי בתחום סקרי הקרקע ולאחר מכן בתחום שימור הקרקע.

במרחב מרכז לא היה קיים תחום כזה. למדתי מאיציק משה ומצוותו במרחב דרום, והתאמתי את אופן העבודה ואת תחומי העבודה למרכז. הקמנו את "פורום שימור קרקע" שנפגש פעם בחודש. למדנו מהשטח, וכמובן אחד מהשני. יער מעלה אדומים היה פרויקט הדגל שתכננתי – כ-7,000 דונם של יצירת יער מגוון במורדות השכונות הצפון-מערביות של העיר על בסיס ניהול הנגר העירוני.

תורת שימור הקרקע במרחב מרכז אינה שונה מזו שבמרחב דרום, ומבוססת על אותם העקרונות. תכנון דרכי יער, הכנת שטחים לנטיעה והממשקים השונים דומים בתכלית, אך במרכז אין כמעט שטחים לבניית מערכות קציר נגר לנטיעות כמו שיחים ולימנים. במרחב מרכז עיקר העיסוק הוא בתכנון ובניהול של דרכי יער ובתכנון ובהקמה של תשתיות ביער. הדרכים והתשתיות גורמות ליצירת כמויות נגר עירוני רב שיש לנהלו. במרחב מרכז היה צריך לעבוד רק ב"חומרים קשיחים" – טרסות אבן או סלע, ולא בסוללות עפר כפי שנעשה במרחב דרום. היינו מהראשונים בעולם בניהול נגר עירוני מבוקר. אימצתי את המוטו "ממפגע למשאב" שהכרתי מפרופ' דב ניר, שלפיו העיר מנסה להיפטר מעודפי המים שלה, בעוד היער יכול לקלוט את המים ולהעצים את מופקעם לטובתו. בכל פעם שראינו את מי הנגר יוצרים מפגע – המחשבה וכיוון התכנון היו להפוך אותם למשאב.

כך התפתחנו ושילבנו היבטי שימור קרקע בממשקי יער נוספים, למשל בחניונים. במקור נבנו החניונים בערוצים, שם הטופוגרפיה נוחה, והעצים גדולים ויפים יותר, אבל שם יש גם יותר מים עם אנרגיות גבוהות הגורמים למחזור (זרימת מים בקרקע) ולהסעת סחף. הם מהווים מפגע בטיחותי וסביבתי, ומאלצים להפעיל תחזוקת יתר. כיום אנחנו מנסים להתמודד עם היקפי נגר עילי גדולים בהרבה בשל צפיפות

משטר הזרימה, וכך נוצרים ערוצי זרימה חדשים. בהקשר זה יש להבחין בין בקר לצאן, ויש השפעה של מספר הבהמות ליחידת שטח.

בהקשר של ניהול נגר, בשירות הייעור האמריקאי מייחסים חשיבות מהמעלה הראשונה גם לאיכות המים. בארץ הנושא רק מתחיל לקבל התייחסות של גורמי סביבה. למשל: כאשר גשם יורד על קרקעות מזוהמות, כמו מכלאות עדרים העשירות בזבל אורגני, אתרי פסולת, או שטחים שגדלים בהם מינים פולשים, הוא מזהם את המים וגם את הסביבה. כדי לשפר את איכות המים במקרים מסוג זה נדרשת הרחקת מקור הזיהום (למשל העדרים) ממקורות המים.

מהו טיפול אגני או כפי שהוא מכונה כיום – ניהול אגני אינטגרטיבי?

אגן היקוות מרכז את כל המים שירדו על האגן, והם יוצאים ממנו בנקודה אחת. אגן היקוות יכול להקיף שטחים נרחבים, עם שימושי שטח שונים, לדוגמה: שדות, מטעים, מתקנים, יישובים, תשתיות, יערות, שטחים פתוחים, נחלים ועוד. האגן אינו מקשה אחת, ויש לנהלו בהתאם לשימושי השטח שלו, בהתחשב בכל השימושים שנעשים בו.

בניהול אגני נכללים נושאים מגוונים: פריצת דרכים, השתיית נגר, ניהול השטחים החקלאיים מבחינת כיוון פליחת הקרקע וגם עיבוד משמר נגר שהכרחי לנוכח התדלדלות הקרקעות, הפיכת שדות למטעים או לשטחי מרעה וכן הלאה.

בקק"ל היינו בין הראשונים שיישמו את התפיסה הזו. למשל, במרחב דרום במפעל הייעור בנגב השתמשנו בשיטת קציר נגר (שיחים ולימנים), ובמרחב מרכז, ביער מעלה אדומים, התבצעו נטיעות בשילוב ניהול נגר עירוני. התכנון שם החל בשנות ה-90 עם תכנון השכונות החדשות בעיר. המגמה הייתה להפוך את כיוון ההתייחסות של העיר מבפנים החוצה, ליצור קו מגע פעיל ומושך בין העיר לשטחים הפתוחים הסובבים אותה, ולהשתמש בכל מי הנגר להשהיה וליצירת בתי גידול עשירים במים שיאפשרו גידול עצי יער בספר המדבר. זהו האזור שנולד בו המושג "מים – ממפגע למשאב".

מה החשיבות של ניטור ארוך טווח בהקשר של ניהול מי נגר?

הניטור (במובן של מעקב ארוך טווח) הוא עיקרון רלוונטי לכל נושא, לא רק לשימור קרקע. שיטת "שגר ושכח" אינה הגישה הנכונה לביצוע פרויקטים ולניהול שטח. למדתי ממורי ורבי איציק משה (מנהל מרחב דרום לשעבר ומתכנן שימור קרקע) ומהצוות המקצועי שלו, שניטור הוא אבן היסוד של פעולות שימור הקרקע.

כאדם דתי אני מחבר את עשייתי למקורות היהודיים: "סוף מעשה בתחזוקה תחילה" כפי שהנחה אותנו מורנו, המתכנן

ליד שולחן השרטוט. התכנון המוקדם היה סכמטי מאוד. עם המעבר לעבודה אינטנסיבית עם ומול מתכננים, אדריכלים, קבלני חוץ ומנהלי פרויקטים הנדסיים חיצוניים שונים הפוגעים ביער, יש קושי: אופי עבודתם מחייב עבודה לפי תכנון מדויק בלבד, והדבר יוצר קושי רב במכש עם השטח, שלרוב אינו תואם באופן מלא את המדידה. גם בתחום זה אנו מתקדמים בהטמעת רעיונותינו בתכנון ההנדסי-סביבתי. חלק מכך הוא הרצאות רבות שאני נותן למהנדסים, למתכננים ולגופי תשתית, וכן ליווי צמוד של התכנון והביצוע. אנו מבקשים מהם חשיבה יצירתית, חשיבה הנדסית-סביבית. קק"ל היא הגוף המוביל במדינת ישראל בנושא של היבטי שימור קרקע בניהול שטחים פתוחים ועירוניים, ויש לנו הרבה ניסיון תאורטי ומעשי.

את תורת שימור הקרקע אני מטמיע אצל יערנים, אצל מתכנני חוץ שעובדים עימנו, אצל מתכנני קק"ל ואצל כל מי שעוסק בתכנון ובמשק של יערות. בקק"ל יש מודעות גדולה לנושא שימור הקרקע, ויש מחשבה רבה על תכנון נכון של מתקני שימור קרקע בהיבטים מגוונים: דרכים וחניונים, ניהול נגר עירוני, שיקום נחלים ומעיינות, גופי מים, שיקום שטחים שרופים, נטיעות, מרעה ותשתיות. היישום בשטח – עבודת ההטמעה וההוראה עוד רבה, ואני פורש מקק"ל בקרוב... שנאמר: "אין אדם עוזב את העולם וחצי תאוותו בידו" – הגשמתו רק חלק מחלומותי ותורתי...

האוכלוסין בישראל. מתקני ניהול הנגר שפיתחנו (הסכרונים, הטרסות ודומיהם) כבר לא מספיקים, היות שנבנו שטחים תורמי נגר עילי בהיקפים עצומים. לכן, עלינו להיערך לקליטת כמויות גדולות בהרבה תוך שמירה על היערות. ההשלכות הצפויות ליערות בעקבות הצפה אינן ידועות, משום שאין לנו ניסיון בזה, אבל ברור שצפויים נזקים, חלק מהם בלתי הפיכים, לבעלי חיים, לצומח ולאיכות מי התהום. במרחב מרכז יש מספר תוכניות לבניית מאגרי ויסות ביערות – ביער חורשים, ביער ראש העין, בנחל נטוף ובנחל נרבאת – ומתוכננות סוללות ענק (סכרים בגובה 10–20 מטר).

מה המורשת שהשארתי?

כיום אני משמש כתובת ליערנים בשאלות מעשיות. הבנת הבעיה תמיד מתחילה בשטח – לראות את האתר, להבין את שורש הבעיה ולבחון כיצד ניתן לפתור אותה. תמיד מתחילים לתכנן ממעלה האגן למורד! זה חלק מתפיסת הניהול האגני. לאורך השנים רשויות ניקוז רבות החלו את הטיפול במורד האגן בשפך אל הים, ורק בשנים האחרונות החלו לטפל במעלה האגן. בדרך כלל אנו מציעים פתרון סכמטי ומתאימים אותו לשטח ב"הנחיית שדה". על הביצוע אחראיות יחידות הביצוע של קק"ל, שהתמחו בפרויקטים. תוצאות הביצוע מרשימות מאוד מבחינת האיכות וההתחשבות בסביבה. במהלך השנים עבדנו ב"תכנון שדה" ללא מדידות, פחות



סכרונים מוצפים ביער מעלה אדומים
צילום: חיים סהר



שיקום ביצת בטיח, יער חדרה
צילום רחפי: יואב ספאחי, קק"ל

consistent trend over the years. Following thinning, a substantial increase in the recruitment (up to five times more) and growth rate (up to two times more) of regenerating pines (*Pinus halepensis*) was measured. Oak (*Quercus caliprinos*) recruitment, on the other hand, decreased as a result of thinning and even some mortality was detected. The growth rate of established oaks in the forest understory, however, increased (up to three times more). Thinning affected plant species composition in the forest understory, and led to a significant increase in species richness (up to 60% more). The thinning treatments caused a decrease (up to 13% less) in the dry biomass production of the forest overstory layer (mature pine trees) and, on the other hand, led to a gradual increase in the productivity of the understory vegetation (up to eight times more). Nevertheless, at this point, the overall LAI and productivity of the overstory and understory layers together, have not yet reached the values that were recorded prior to thinning. The study findings demonstrate the long-term effectivity of stand thinning treatments for designing forest structure, controlling ecosystem dynamics and functions, and improving forest resilience in the face of increasing water deficiency resulting from climate change.

■ *Ficus microcarpa* in Israel: Past, present and future

Zvi Mendel^{1*}, Alexie Protasov¹, Avigail Heler², Haim Gavriel³

Ficus microcarpa s.l. is a common street tree in Israel. We review historical and biological aspects of this tree species and the steps of its acclimatization in Israel. The biotic factors that affect its success and continued planting in Israel's urban areas are

discussed.

The first evidence of *F. microcarpa* acclimatization outside its native range appears in a plant catalog from Sicily by Vincenzo Tineo (1827). The earliest planting of the tree in the eastern Mediterranean was apparently in Egypt, probably in the first half of the 19th century. It was likely first brought to Israel in the mid-1920s, most probably from Egypt. Extensive planting of the species in Israel began in the 1930s, mainly in Tel Aviv. *F. microcarpa* was planted and grows throughout Israel. The species thrives along avenues mainly on the coastal plain and in the Judean foothills. Currently, there are reservations regarding new plantings due to the nuisance caused by the ripening fruits, and to some extent, because of the aggressive development of the roots that sometimes damages infrastructure. About 42 species of herbivorous insects are found on *F. microcarpa* in Israel, of which 14 are specific, including chalcid wasps that mature in developing fruits. Three species are significant invasive foliage pests that have become established in Israel in the last decade: the leaf gall wasp (*Josephiella microcarpae*), the ficus woolly hopper (*Macrohormotoma gladiata*) and the ficus leaf-rolling psyllid (*Trioza brevigenae*).

Another significant nuisance is related to the activity of the Egyptian fruit bat (*Rousettus aegyptiacus*), which feed on the ripening fruits and whose droppings contaminate buildings around those trees. Fruit bat droppings seriously foul walls and other structures in many urban areas in Israel. Effective biological control of the wasps that induce fruit maturation is probably not feasible. However, it is likely that there are gall inducers specific to the young figs in the natural habitats of the tree. Such gallers may disrupt the normal development of the premature fruits, and consequently their ripening.

1 Plant Protection Institute, Agricultural Research Organization - Volcani Institute, Bet Dagan, Israel

2 Forestry and Trees Division, Ministry of Agriculture and Rural Development

3 City Beautification Division, Tel Aviv Municipality

* zmendel@volcani.agri.gov.il

the Negev desert in Israel. The research station in Yatir Forest became part of the Long-Term Ecological Research (LTER) network in 2009, with an experiment focusing on land use management strategies. The experimental forest plots were thinned to stand densities of 10, 20, and 30 trees per hectare, with several unthinned control plots, similar to the LTER station in the Kedoshim Forest. In addition to assessing the effects of grazing on the forest ecological functions, half of each plot was fenced off to prevent access of local herds. Tree monitoring included physiological measurements (needle length, stem diameter, root growth, seedling germination and survival) and ecological parameters (understory growth, soil moisture, etc). During the 13 years of monitoring, trees in the thinned plots (mostly in 10 trees/hectare plots) consistently exhibited enhanced growth. Contrary to our initial hypothesis that thinning would enhance tree growth due to improved water availability as a result of reduced competition from neighboring trees, light availability was found to be the most limiting factor. Our results indicate that stand density reduction enhances water use efficiency in the remaining trees and overall performance, and should be considered as a prospective forest management policy. In addition, our results indicated that natural tree regeneration is not likely in the Yatir forest, even when thinning and fencing are applied, probably due to the harsh climatic conditions of the area. The data collected from the Yatir LTER station shed light on the ecological processes taking place in this uniquely arid forest and contribute important insights for the KKL-JNF long-term forest management plans. The Yatir Forest is an important model for understanding how forests behave under climate change, and

hence, the results of this experiment have global significance for long-term forest management strategies.

■ Martyrs' Forest – Long-Term Ecological Research Site in a planted conifer forest: Managing mature stands to form the future forest

Yagil Osem^{1*}, Ela Zangy^{1,2}, Mor Askenazi^{1,2,3}, Ailon Calev^{1,2,3}, Uri Meirovich^{1,2}, Roni Tal^{1,2,3}, Maya Milet^{1,2,3}, Yosi Moshe¹, Hussein Muklada¹, Moshe Zukerman³, Gamal Duiat³, Jose Grunzweig², Chanoch Zoref³

The long-term ecological research (LTER) site in the Kedoshim Forest was established in 2009 in order to investigate key questions regarding the management of mature conifer forests in Israel and their structuring as vital, diverse resilient forests. The research is carried out in a mature *Pinus halepensis* forest in the Judean Mountains and examines the long-term effects of various stand thinning treatments on forest tree vitality, natural regeneration, biodiversity and ecosystem function. Twelve years following the application of treatments, the study results show that stand thinning has led to a significant increase (up to four times more) in the productivity of the trees that remained after thinning, and to a substantial reduction in tree mortality rate (up to ten times less). However, the response of the remaining trees in terms of their crown size was limited, and the leaf area index (LAI – the area of leaves per unit ground area) of the forest overstory showed some inter-annual fluctuations but did not exhibit any

1 The Department of Natural Resources, Agricultural Research Organization – Volcani Institute, Bet Dagan, Israel.

2 The Robert H. Smith Faculty of Agriculture, Food, and Environment. The Hebrew University of Jerusalem in Rehovot, Israel

3 The Forestry Division, KKL-JNF

* yagil@volcani.agri.gov.il*



English Abstracts

■ Long-term and short-term eco-hydrological effectivity of water harvesting systems along slopes at a dryland afforestation site

Eli Argaman^{1*}, Netanel Borow^{1,2}, Tikotzki Idit^{1,3}, Stavi Ilan^{4,5}

Land degradation is a persistent issue that negatively impacts dryland ecosystems. In an effort to combat this problem, extensive afforestation activities have been carried out in the semi-arid Negev region of southern Israel in recent decades. However, the long-term effects of these actions in drylands, particularly during prolonged drought episodes, remain unclear. This study investigated the impact of land-use change from intensive grazing to afforestation based on runoff-harvesting systems, on herbaceous vegetation productivity during a long-term drought. The temporal dynamics of this impact were assessed across the multi-aged Ambassadors' Forest using normalized difference vegetation index (NDVI) data for the hydrological years 2000-2020. The study focused on three locations within the Ambassadors' Forest, namely 15-year-old, 11-year-old, and 4-year-old planted hillslopes, with undisturbed hillslopes near these sites as a control treatment.

The results revealed significant temporal variability

in vegetation cover. In the short term, specifically in the first hydrological year following the establishment of the water-harvesting systems, there was a sharp reduction in mean annual NDVI, with values substantially lower than those in the control sites. However, the negative impact of land-use change decreased over time, indicating that in the long-term self-restoration processes after land-use change and the establishment of water-harvesting systems contributed to improved conservation of hillslope runoff. This positive effect was observed in the 11- and 15-year-old afforestation sites, which exhibited higher vegetation productivity than their respective control sites. Despite long-term drought during the development of the water-harvesting systems, these findings are consistent with previous studies suggesting that ecological self-restoration processes in semi-arid regions can be expected approximately a decade after the implementation of earthworks for the establishment of runoff-harvesting systems.

■ Yatir Forest: The effect of stand density and grazing management on a conifer forest at the desert edge

Yael Grunwald^{1*}, Ella Posner¹, Eyal Rotenberg², Dan Yakir², Tamir Klein¹

Yatir Forest is a planted forest comprising mainly Aleppo pine (*Pinus halepensis*), bordering on

1 Soil Erosion Research Station, Ministry of Agriculture and Rural Development, Israel

2 The Robert H. Smith Faculty of Agriculture, Food, and Environment. The Hebrew University of Jerusalem in Rehovot, Israel

3 Israel Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, Agricultural Research Organization - Volcani Institute, Bet Dagan, Israel

4 Dead Sea and Arava Science Center, Yotvat, Israel

5 Ben-Gurion University of the Negev, Eilat Campus, Eilat, Israel

* Eliar@moag.gov.il

1 Plant and Environmental Sciences Department, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

2 Department of Earth and Planetary Sciences, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

* yael.grunwald@weizmann.ac.il



FOREST

Journal of Forests
and Open Lands
Management

Issue No. 24 | June 2023

Editor:

Dr. Anat Madmony

Editorial Council:

Dr. Anat Madmony
Dr. Gilad Ostrovsky
Dr. Shani Rohatyn

Editorial Board:

Dr. Erez Barkae
Prof. Meni Ben-Hur
Dr. Omri Bonne
Dr. Rakefet David-Schwartz
Avigail Heller
Asaf Karavani
Dr. Tamir Klein
Dr. Idan Kopler
Dr. Doron Markel
Prof. Zvi Mendel
Adi Noy Ivanir
Prof. Daniel E. Orenstein
Dr. Yagil Osem
Dr. Gilad Ostrovsky
Uri Ramon
Prof. Joseph Riov
Dr. Shani Rohatyn
Dr. Efrat Sheffer
Dr. Orit Skutelsky
Dr. Michael Sprintsin
Prof. Dan Yakir

Copy and Substantive Editing:

Inbar Kimchi-Angert

English Text Editing:

Dr. Esther Lachman

Design and Graphics:

Orit Yeshayahu

Address:

"Yaar" Magazine
KKL-JNF
jaar.magazine@kkl.org.il

Publisher

Keren Kayemeth LeIsrael
Jewish National Fund
Land Development Authority
Chief Scientist
Publication Unit, Public Affairs

© Copyright

ISSN

2957-7403 (print)
2957-739X (internet)

Forest Journal Online access:

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

For more information

1-800-350-550

Front cover:

Experimental plots in Martyrs' Forest that underwent thinning. The black squares mark the borders of the plots (70X70 meters), the small squares in each plot mark the monitored area (40X40 meters).
Aerial photo: Icarus, August 2010

Back cover:

Understory vegetation survey in the Martyrs' Forest station. The study tracks the effect of thinning mature Aleppo Pines planted in 2009, on understory vegetation composition and diversity.
Photo: Yagil Osem, April 2009



TABLE OF CONTENTS

On the Opening Page	3	Long-term monitoring of grassland vegetation at the Karei Deshe LTER, and cattle management in Israel	77
Ifat Ovadia Luski		Zalmen Henkin, Neta Goldenberg Aghion, Haim Gorelik Guy Dovrat	
Editorial	4	<i>Ficus microcarpa</i> in Israel: Past, present and future	86
Gilad Ostrovsky		Zvi Mendel, Alexie Protasov, Avigail Heler, Haim Gavriel	
■ Reviews		■ From the Field	
Long-term ecological research: developments, trends and achievements in the world, in Europe and in Israel	5	Biodiversity monitoring for nature conservation by the Israel Nature and Parks Authority	93
Moshe Shachak, Shayli Dor-Haim		Yehoshua Shkedy, Ori Frid, Ofer Steinitz, Noam Leader	
Long-term socio-ecological research – The Israeli version	13	Planting trees as forage for honey bees in Israel	99
Daniel E. Orenstein, Noa Avrieli-Avni, Liat Hadar, Jessica Schäckermann, Ronit Cohen-Seffer		Arnon Dag	
The relation between runoff potential and Acacia tree distribution in the Wadi Shita secondary catchments	22	■ Very Short Notes	
Rachel Armoza-Zvuloni, Itay Abadi, Yanai Shlomi, Hanan Ginat, Nitzan Segev, Rachamim Shem-Tov		The large scenic lookout in Switzerland Forest	105
Long-term and short-term eco-hydrological effectivity of water harvesting systems along slopes at a dryland afforestation site	33	Adi Kliger	
Eli Argaman, Netanel Borow, Idit Tikotzki, Ilan Stavi		■ A Forest of Books	
Sayeret Shaked Park LTER site – functional rehabilitation of water-limited and desertified ecosystems	44	Invention of Nature: Alexander von Humboldt's New World by Andrea Wulf	106
Shayli Dor-Haim, David Brand, Itshack Moshe, Moshe Shachak		Gilad Ostrovsky	
Yatir Forest: The effect of stand density and grazing management on a conifer forest at the desert edge	51	■ Then and Now	
Yael Grunwald, Ella Posner, Eyal Rotenberg, Dan Yakir, Tamir Klein		Nahal Guvrin – Stream restoration and water level monitoring	108
Martyrs' Forest – Long-Term Ecological Research Site in a planted conifer forest: Managing mature stands to form the future forest	59	Gil Siaki, Leo Volin, Nadav Amir	
Yagil Osem, Ela Zangy, Mor Askenazi, Ailon Calev, Uri Meirovich, Roni Tal, Maya Milet, Yosi Moshe, Hussein Muklada, Moshe Zukerman, Gamal Duiat, Jose Grunzweig, Chanoch Zoref		■ Know Your Trees	
An evolutionary perspective on 20 years of long-term monitoring in Ramat HaNadiv	67	Christ's thorn jujubes at Tel Hadid	111
Liat Hadar, Avi Perevolotsky		Amir Hermes	
		■ Talking with...	
		Soil conservation in KKL-JNF forests – A long-distance run: A conversation with Haim Sahar	112
		Adi Noy Ivanir	
		■ English Abstracts	III



FOREST

Journal of Forests
and Open Lands
Management

Issue No. 24 | June 2023



Special issue focusing on
long-term monitoring and research

