

כתב-עת  
לניהול יערות  
ושטחים פתוחים

# יער

גיליון 29 | דצמבר 2025 | טבת תשפ"ו



100% אנרגיה ירוקה





## תוכן עניינים

51	סקר הידרוביולוגי במעיינות הרי יהודה שנת 2023	3	משולחנו של מנהל אגף הייעור גלעד אוסטרובסקי
----	---	---	---

### מאמרים

	<b>קצרים</b>		<b>חקר המכלואים בין אורן קפריסאי לאורן ירושלים ביערות הנטועים בארץ והשלכותיהם על התחדשות היער</b>
59	יום עיון בנושא פיקוס השקמה בישראל – סקירה	5	נעמי הומינר, יגיל אסם, יוסי ריוב, רקפת דוד-שוורץ
	האנה לב		

61	פארק נחל השופט – פארק יער מנוהל בדגש על חוויית המבקר וחיבור לקהילה	16	שרידי החקלאות הקדומה בנגב – איתור, מיפוי ופיתוח כלים לשימור ולשיקום
	יותם רשף, נועה שתיל		שי שרפברג, רונה וינטר-לבנה, יערה רוזנר, גיא שלף, יואב אבני, אורי רמון

### יער של ספרים

64	הקפות ביער, דלין מתיה, 1985, תל אביב Circles in a Forest, Dalene Matthee 1984	24	יותר מינים, פחות מתמחים: השפעת יערות פארק נטועים על חברת העופות
	גלעד אוסטרובסקי		דניאל עידן, ניב דה-מלאך, הילה סגרה

### סקירות

	<b>עצים ששווה להכיר</b>		<b>חקר השינויים במארגי המזון וחשיבותו לניהול שטחים פתוחים בעידן של שינוי האקלים</b>
66	גבירת השקמה מאשקלון	34	יגאל גרנות, סול ברנד, משה שחק
	אוסי בנימין		

III	<b>תקצירים באנגלית</b>		<b>מן השטח</b>
-----	------------------------	--	----------------

42	ארגז כלים ללימוד ההיסטוריה של עצי זית עתיקים
	רועי פורת, תאמר מנסור, אלעד בן דור, עוז ברזני, איתי מירוז, רונן שטיין, אילה נוי-מאיר, מירב מאיר, גלינה פיירשטיין, דפנה לנגוט, רביע חמיסה, קייט רפאל, אליעזר באומגרטן, רועי שפיר, מיקה אולמן, אליזבטה בוארטו, גדעון אבני, גיא בר-עוז



# יער

כתב-עת  
לניהול יערות  
ושטחים פתוחים

גיליון 29 | דצמבר 2025 | טבת תשפ"ו

עורכת:

ד"ר ענת מדמוני

ועדת העורכים:

ד"ר גלעד אוסטרובסקי

ד"ר ענת מדמוני

ד"ר שני רוהטין-בליץ

חברי המערכת:

ד"ר גלעד אוסטרובסקי

ד"ר דניאל אורנשטיין

אביב אייזנבנד

ד"ר יגיל אסם

ד"ר ניב דה-מלאך

ד"ר רקפת דוד-שוורץ

אביגיל הלר

פרופ' דן יקיר

ד"ר עודד כהן

פרופ' צביקה מנדל

ד"ר דורון מרקל

עדי נוי איוניר

ד"ר הילה סגרה

ד"ר מיכאל ספרינצין

ד"ר אורית סקוטלסקי

ד"ר יקיר פרייזלר

ד"ר עידן קופלר

ד"ר תמיר קליין

אסף קרואני

ד"ר שני רוהטין-בליץ

אורי רמון

פרופ' אפרת שפר

עריכת לשון ותוכן:

ענבר קמחי-אנגרט

עריכת לשון באנגלית:

ד"ר אסתר לחמן

עיצוב גרפי:

אורית ישעיהו

כתובת המערכת:

"יער"

קרן קימת לישראל

Yaar.magazine@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](http://www.kkl.org.il/forest-online-journal)

אתר קק"ל באינטרנט

[www.kkl.org.il](http://www.kkl.org.il)

לפרטים ולהרשמה לאירועים ביערות ובאתרי קק"ל:

קו ליער: 1-800-350-550

תמונת כריכה:

נטע קומורניק, מבט אל יער ועמק בין קיבוץ אלונים לטבעון

גואש, אפריל 2025



## משולחנו של מנהל אגף הייעור

קוראות וקוראים יקרים,

לא מוגנים, שיעור קטן בשטחים בניהול קק"ל, חלק מהן בשמורות טבע וחלק בשטחים המוכרזים כאתרי עתיקות. המחקר נועד לאסוף את המידע ולהנגיש אותו לכל הנוגעים בדבר. המחקר הוצג בכנס 'ארץ המכתשים' במצפה רמון, זכה לעניין רב, והוא מהווה בסיס לשיתופי פעולה עם מועצות אזוריות, רשות העתיקות ורשות הטבע והגנים, וגם ליוזמה של קק"ל להרחבת שטחי הניהול על שטחים ערכיים בעלי חשיבות לשיקום ולהגנה.

דוגמה נוספת היא יום עיון שהתקיים באשקלון ויוחד כולו לעצי השקמה. אני ממליץ לקרוא את הסקירה המעניינת בגיליון, וכולי תקווה שהעלאת קרנן של השקמים ביום העיון תוליד יוזמות לשימור עצי השקמה ואולי אף תוכנית שאפתנית של קק"ל להחיות את שדרת השקמים ההסטורית במישור החוף.

הסתיו היובשני מעורר אצלנו דאגה רבה. היובש והחום עדיין שוררים בארץ, ומתרבות התצפיות של התייבשות עצים בדרום ובמרכז. זה מכבר התחלנו בפעילות ניטור בחישה מרחוק, ובגיליון הבא נביא ממצאים ראשוניים וכיווני פעולה להתמודדות עם מיעוט הגשמים ההולך ומחריף.

בימים אלה, ימי חשוון תשפ"ו, ימים של רגיעה חלקית, אנחת רווחה נשמעה בארץ עם חזרתם של כל החטופים החיים ומרבית החללים. כולנו תקווה שכל החללים החטופים יושבו במהרה לביתם ולארצם ויזכו למנוחת עולמים.

קריאה מעניינת,

גלעד אוסטרובסקי  
היערן הראשי ומנהל אגף הייעור

בימים אלה של סתיו מאוחר, לאחר חורף שחון וקיץ המתארך ללא גבול, כשמד הטמפרטורה מאמיר עד 35 מעלות (בנובמבר), אנחנו שבים אל היער למצוא בו נחמה וכוחות רעניים. עינינו נשואות לגשמים המיוחלים, לצמיחה המחודשת ולשמחת האדמה והחיים. הגיליון שלפניכם מביא משהו מהשפע שהיער מעניק לנו, ותמצאו בו מאמרים על מיני עצים, (אורנים, זית, שקמים), על מעיינות בהרי יהודה, על עופות בבתה, על מארגי המזון בעת שינוי האקלים, על פארק נחל השופט ואתגרי ניהול המבקרים בו, וגם מבט עומק על חקלאות קדומה בהר הנגב, זכרון קדומים לנוף מיושב עתיר חקלאות בתנאי יובש קיצוני.

אני מבקש להסב את תשומת ליבכם לאופן שאנחנו מבקשים לקדם מחקרי יער ושטחים פתוחים מתוך רצון להעמיק את הידע שלנו ומתוך כוונה לעשות בו שימוש יישומי בעבודתנו. המחקר על החקלאות הקדומה הוא דוגמה מיוחדת ומעניינת. הרעיון לערוך סקר נרחב בשטחים שרובם אינם בניהול קק"ל נבע מהרצון להבין את המרחב ואת הערכים הקדומים שגנוזים בו, להתחבר לידע ולניסיון המקצועי הרב שפותח בקק"ל במשך עשרות שנים, ולבסס בעקבות הסקר תפיסה לניהול הממצאים הרבים הנמצאים בשטח. החקלאות העתיקה כוללת אלפי שרידים של פעילות חקלאית קדומה שפזורים במרחבי הנגב בין בקעת באר שבע בצפון להר הנגב הגבוה בדרום. השרידים כוללים חלקות עיבוד, טרסות חקלאיות, סכרי אבן, תעלות לתיעול מי נגר, תלוליות אבן, בורות מים ומאגורות, ומקובל לייחס את רובם לפריחת היישובים בנגב בתקופה הרומית המאוחרת ובתקופה הביזנטית. המחקר איתר מערכות חקלאיות הפרושות על פני כ-120,000 דונם, רובן בשטחים



בוסתן ניצנה. הבוסתן שוקם לאורך שנים על ידי עובדים מקצועיים ומתנדבים, בהובלת מרחב דרום בקק"ל. כחלק מהפרויקט בנו הפועלים מגלש לשחרור עודפי מים מהטרסה.  
צילום: איציק משה



# חקר המכלואים בין אורן קפריסאי לאורן ירושלים ביערות הנתועים בארץ והשלכותיהם על התחדשות היער

נעמי הומינר<sup>1\*</sup> | יגיל אסם<sup>2</sup> | יוסי ריוב<sup>3</sup> | רקפת דוד-שוורץ<sup>2</sup>

- 1 מחלקת יער דרום, קק"ל
- 2 המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
- 3 הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים
- \* naomih@kkl.org.il

## תקציר

בהשוואה לזריעים של אורן קפריסאי. כדי לבחון את ההנחה נערכו ניסויים מבוקרים שהשוו מדדים מורפולוגיים, מדדים אנטומיים ומדדים של משק המים בשתילים של אורן קפריסאי, של אורן ירושלים ושל מכלואים שלהם. נמצא כי במכלואים מתבטאות תכונות משולבות של שני ההורים, שעשויות להקנות להם יתרונות מסוימים בקצב הצימוח ובשיעור ההישרדות. ממצאי המחקר הראו כי תופעת המכלואים ביערות המחטניים של ישראל משמעותית, ויש לה פוטנציאל לגיוון וייתכן שאף להשבחה של היער. נוסף על כך, הכלאות הדדיות של דורות מתקדמים יאפשרו מעבר גנים דו-כיווני, דבר שיעשיר עוד יותר את השונות הגנטית ועשוי לתרום לחוסנו של היער בפני השפעות של שינוי האקלים.

אורן ירושלים הוא מין מקומי לישראל והוא המין העיקרי ששימש ליעור בארץ מאז תום תקופת המנדט הבריטי ועד שנות ה-70 של המאה הקודמת. מאז הוא הוחלף בהדרגה באורן קפריסאי בשל עמידותו לכנימת המצוקוקוס הארץ-ישראלי. כאשר שני המינים גדלים זה לצד זה נוצרים ביניהם מכלואים טבעיים, אולם היקף התופעה והשפעתה על היערות בארץ טרם נחקרו. מאמר זה הוא תמצית של עבודת דוקטור שחקרה את שכיחות המכלואים ואת תכונותיהם המורפולוגיות והפיזיולוגיות בדגש על התאמה לתנאי יובש. במסגרת המחקר פותחו סמני DNA לזיהוי מכלואים בני דורות שונים. נמצא כי שיעור המכלואים בעומדים נתועים ותיקים של אורן קפריסאי (דור היערות הראשון) נע בין 2.5%-ל-9%, וכי הם מפגינים צמיחה נמרצת בהשוואה לעצי אורן קפריסאי שכנים, בייחוד באזורים צחיחים למחצה. שכיחות המכלואים נבדקה גם בעומדי אורן קפריסאי המתחדשים באופן טבעי, ונמצא כי שיעורם בזרעים של עצי האם היה כ-5%. שכיחות המכלואים מקרב הנבטים בסוף החורף הראשון לאחר הנביטה עמדה על כ-8%, ובזריעים שהצליחו לשרוד בקיץ הראשון היא עלתה לכ-22%. ניתן להניח כי עלייה זו בשכיחות המכלואים מרמזת על יתרון הישרדותי

### מילות מפתח

גיוון גנטי, מכלואים, מצוקוקוס ארץ-ישראלי

## רקע

קפריסאי, אף על פי שאינו מין מקומי (Mendel, 1998; Bonneh, 2000), ומאז שנות ה-70 ניטעו שני המינים ברחבי ישראל. מתוך האקוטיפים השונים של אורן ירושלים הועדף האקוטיפ היווני בשל סבילותו הגבוהה יחסית לכנימת המצוקוקוס לעומת שאר האקוטיפים של אורן ירושלים. אורן קפריסאי כמעט ולא ניטע באזור הצחיח למחצה של ישראל בשל התאמתו הנמוכה יחסית לעקת יובש.

ידוע כי מגוון מינים גבוה משפר את חוסן של מערכות אקולוגיות בפני שינויי סביבה. נוסף על כך, מגוון גנטי עשיר בתוך כל מין משפר את כושר ההתמודדות עם עקות ביוטיות ואביוטיות (Porth and El-kassaby, 2014). מיני עצים המואבקים באמצעות הרוח מאופיינים בשונות גנטית גבוהה, כך שכל עץ שונה משכנו במטען הגנטי. הכלאה בין-מינית מגדילה גם היא את השונות הגנטית. תופעה זו מוכרת בעולם הצמחים, ונצפתה גם באורנים (Janes and Hamilton, 2017; McKown and Guy, 2018; Zanewich et al., 2018). נמצא כי גם ללא חפיפה בתפוצה הטבעית מיני אורנים מסוימים יכולים להעמיד צאצאים פוריים לאחר הכלאות מבוקרות (Dungey, 2001; Critchfield, 1975). במקרים שאורן ירושלים ואורן קפריסאי גדלים זה לצד זה, מתקיימת ביניהם הכלאה טבעית. לרוב אורן קפריסאי מתפקד כעץ האם, ואורן ירושלים כמאביק (Panetsos, 1975, 1986). בעקבות פעולות הייעור שנעשו בישראל נוצרה במגוון בתי גידול בארץ חפיפה מרחבית בין שני המינים, המספקת הזדמנות ייחודית לחקור את תופעת ההכלאה הבין-מינית ואת השפעתה על חוסן היערות לנוכח שינוי האקלים. בעבר זוהו מכלואים בין שני המינים בעומדים בוגרים של אורן קפריסאי בישראל. המכלואים זוהו על סמך תכונות מורפולוגיות, קצב גידול מהיר וסמנים מולקולריים (Korol et al., 1995; Korol et al., 2001; Madmony et al., 2003). בעבודות קודמות פותחו מספר שיטות לזיהוי המכלואים, בהן שימוש באיזוזימים (Panetsos et al., 1997; Korol et al., 2001; Gallis and Madmony et al., 1997), בסמני RAPD-DNA (Panetsos, 1997), וכן שיטת HRM (High Resolution Melting) של הסמן הכלורופלסטי *trnL* (Ganopoulos et al., 2013). למרות ההתקדמות בפענוח הגנום של מינים שונים, טרם פוענחו במלואם הגנומים של אורן קפריסאי ואורן ירושלים, ככל הנראה בגלל גודלם העצום שמוערך בכ-32 Gbp (פי 10 לערך מהגנום האנושי), ושמתפרס על פני 12 כרומוזומים (Grotkopp et al., 2004). נוסף על הגנום הגרעיני, קיימים בצמחים גם גנומים של הכלורופלסטים והמיטוכונדריה. בניגוד למרבית הצמחים, אורנים מאופיינים בהורשה אבהית של גנום הכלורופלסטים (Neale and Sederoff, 1989), ותופעה זו מאפשרת לנו לזהות את מין העץ המאביק בהכלאה הבין-מינית.

מערכות אקולוגיות של יערות מאוימות בשל שינוי האקלים הקיים והצפוי. על פי תחזיות עדכניות, האזור הים תיכוני צפוי להתמודד עם יובש גובר עקב ירידה בכמות המשקעים והתקצרות עונת הגשמים (Barredo et al., 2018; Choat et al., 2018; Cramer et al., 2018; Allen et al., 2010). צפויה עלייה בתמותת עצים ביערות (Anderegg et al., 2015). במהלך שני העשורים האחרונים חוותה ישראל מספר אירועי בצורת משמעותיים שגרמו לתמותה נרחבת של עצים ביערות הנטועים בארץ (Klein et al., 2019). התהליכים האלה מדגישים את הצורך באיתור מינים ואקוטיפים של עצים בעלי התאמה גבוהה ליובש שישמשו לצורך ייעור מחדש והעשרה של יערות קיימים, בייחוד באזורים צחיחים למחצה.

אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill.) ואורן קפריסאי (*P. brutia* Ten.) הם עצי המחט העיקריים ביערות אגן הים התיכון. שני מיני האורנים קרובים גנטית, ומשתייכים לתת-הסוג *Pinaster*. בעבר היו חוקרים שסיווגו את האורן הקפריסאי כתת-מין של אורן ירושלים (Gernandt et al., 2005), אך למרות הדמיון ביניהם הם נחשבים כיום למינים נפרדים. שני המינים מהווים מעל 25% מהעצים ביערות המחטניים בצפון אפריקה וכ-50% מהעצים המחטניים ביערות באגן הים התיכון (Thanos and Daskalaku, 2000). אורן ירושלים הוא המין הנפוץ ביותר סביב אגן הים התיכון, ממרוקו, אלג'יריה ותוניסיה בצפון אפריקה, דרך ספרד, צרפת, איטליה ויוון בדרום אירופה ועד ישראל וירדן במזרח התיכון. אורן קפריסאי נפוץ בצפון-מזרח אזור הים התיכון, בעיקר בטורקיה, בסוריה, בלבנון, בקפריסין ובאזורים מסוימים ביוון (Mauri et al., 2016). ביוון אורן ירושלים נפוץ בעיקר במערב המדינה, בעוד שאורן קפריסאי שולט במזרח, ואין חפיפה גאוגרפית בין המינים. המרחק הקצר ביותר ביניהם במדינה זו הוא 50 ק"מ בין אוכלוסיית אורן ירושלים בחצי האי חלקידיקי לבין אוכלוסיית אורן קפריסאי באי תאסוס (Gallis and Panetsos, 1997).

אורן ירושלים הוא מין מקומי בישראל, והוא היה המין העיקרי ששימש לייעור בארץ עד שנות ה-70 של המאה הקודמת (Mirov, 1967; Osem et al., 2008). בתקופה זו דווחה תמותת עצים רחבת היקף ביערות הנטועים של אורן ירושלים, שיוחסה לכנימת המצוקוקוס הארץ-ישראלי (*Matsucoccus josephi*) שפגעה קשות בעומדים נטועים צעירים ובוגרים (Korol et al., 1995; Mendel, 1998; Madmony et al., 2003). בשל הרגישות של אורן ירושלים לכנימה מצד אחד, והעמידות הגבוהה של אורן קפריסאי למזיק מצד שני, החלה קק"ל להעדיף בהדרגה נטיעת אורן

נובע מהבדלים במקור הזרעים. מקורות הזרעים של אורן קפריסאי באתרים שנסקרו אינם ידועים. בהתבסס על רשומות יבוא הזרעים שקק"ל השתמשה בהם בעת נטיעת העומדים הללו, סביר להניח שהזרעים הגיעו מיוון, וכנראה כללו שיעור מסוים של מכלואים. גם היסטוריית הדילולים עשויה להוות סיבה להבדלים בשכיחות המכלואים, שכן עצים קטנים יחסית נבחרים לכריתה בדילול, בעוד שהעצים הגדולים יותר נותרים על כנם. למרבה הצער, גם המידע על היסטוריית הדילולים באתרים שנסקרו מועט. עם זאת, בהתבסס על נוהלי הדילול המקובלים בקק"ל, כמו גם על נוכחות גדמים באתרים, ניתן לקבוע שבבוקע ובקרו הכרמל בוצע לפחות מחזור דילול אחד, בעוד שבגילת הנטיעה נעשתה מלכתחילה במרווחים גדולים יחסית, ולא בוצע דילול. ההבדל בהיסטוריית הדילולים עשוי להסביר את שיעור המכלואים הגבוה יותר בבוקע ובקרו הכרמל (6.3% ו-9.4%, בהתאמה) בהשוואה לגילת (2.5%).

בשלושת האתרים עצי המכלוא היו גדולים יותר בהשוואה לעצי אורן קפריסאי השכנים (איור 1). היחס בין ממדי המכלואים לאלה של עצי אורן קפריסאי הסמוכים היה שונה מאוד בין האתרים. הפער הגדול ביותר היה בגילת (פי 2.9 בנפח הגזע), הבינוני בבוקע (פי 2.4), והקטן ביותר בקרו הכרמל (פי 1.3). שלושת אתרי המחקר נבדלו במאפיינים רבים – אקלים, רקע גנטי, גיל העצים, צפיפות העומד, היסטוריית הדילולים ועוד – ולכן לא ניתן לקבוע הסבר חד-משמעי להבדלים בפערים ביניהם.

בשלב השני של המחקר נבחנה שכיחות ההכלאות בין שני המינים בעומדי יער מתחדשים. נסקרו חמישה עומדים בוגרים של אורן קפריסאי הגובלים בעומדים של אורן ירושלים בחמישה אתרים הממוקמים לאורך מפל הגשם באזור האקלים הים תיכוני בארץ: עין-חוד (ממוצע גשם שנתי 661 מ"מ), נירית (610 מ"מ), גמזו (550 מ"מ), משואה (460 מ"מ) ובית גוברין (402 מ"מ). שכיחות המכלואים נבדקה בשלושה שלבים של התחדשות היער: א. **זרעים** באצטרובלים על עצי האם (אורן קפריסאי) שנדגמו בסתיו לפני ההפצה; ב. **נבטים** שנבטו במהלך העונה הגשומה ונדגמו בתחילת האביב הראשון לאחר הנביטה; ג. **זרעים** ששרדו בעונה היבשה הראשונה לאחר הנביטה ונדגמו בסוף הקיץ. הנבטים שהגיחו בחורף והזריעים ששרדו בקיץ נאספו באופן אקראי מחלקות בגודל של דונם אחד בתוך עומד בוגר של אורן קפריסאי בכל אחד מהאתרים. זיהוי גנטי של כל דגימה בוצע באמצעות 94 הסמנים שפותחו. בסקר שתואר זהו מכלואי  $F_1$  וגם דורות מתקדמים יותר ( $F_x$ ) של מכלואים. תיאור מפורט של השיטות שיושמו בשלב הזה של המחקר והתוצאות שהתקבלו מוצג אצל Houminer ואח' (2024).

ההנחה שעמדה בבסיס מחקר זה הייתה שהמכלואים של אורן קפריסאי ואורן ירושלים עשויים לשלב תכונות שונות מהוריהם. לפיכך, המכלואים יכולים להוות מקור חשוב לחידוש היער, הן על ידי התחדשות טבעית הן על ידי נטיעה. מטרת המחקר הייתה לבחון את שכיחות התופעה ביערות הבוגרים וביערות המתחדשים בישראל ולהעריך את תרומת המכלואים לחוסנו של היער בעתיד, וכן לאפיין את התכונות המורפולוגיות והפיזיולוגיות של המכלואים.

## שיטות ותוצאות

### סקרי שכיחות מכלואים ביערות

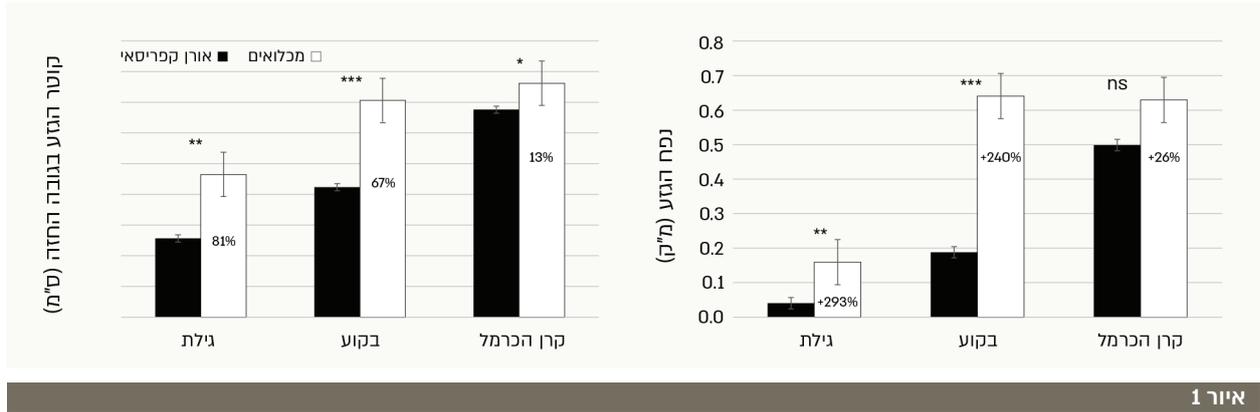
מטרות שלב זה של המחקר היו: א. בחינת שכיחות המכלואים וממדיהם בעומדים בוגרים של אורן קפריסאי שמקורם בזרעים שיובאו מחו"ל; ב. בחינת שכיחות ההכלאה הספונטנית ביערות ישראל בין אורן קפריסאי לאורן ירושלים וכיצד היא משפיעה על שיעור המכלואים בקרב השתילים המתחדשים בצמחיית תת-היער ביערות ישראל.

כדי להעריך את היקף תופעת ההכלאות ולשם קביעת דור המכלואים (האם הם דור ראשון [ $F_1$ ], דור מתקדם או "הכלאה חוזרת" של צאצא עם אחד מהוריו), פותחו סמני DNA בעזרת ריצוף גנים של אורן קפריסאי ושל אורן ירושלים בשיטת NGS (Next Generation Sequencing). שיטה זו מאפשרת פיתוח סמני DNA לזיהוי מיני צמחים ללא רצף גנום ידוע, בעיקר עבור מינים בעלי גנום גדול במיוחד כמו אורנים (Grotkopp et al., 2004; White et al., 2007). בשיטה זו, המפורטת במאמרים שפרסמנו בעבר (Houminer et al., 2021; Houminer et al., 2024), פותחו 94 סמני DNA, ומתוכם מופו 17 סמנים מופו לשבעה כרומוזומים (מתוך 12), וסמן אחד מופה לכלורופלסט. המיפוי מאפשר זיהוי גנטי אמין של המין המאביק (ההורה הזכרי) וגם של דרגת המכלוא (Houminer et al., 2024).

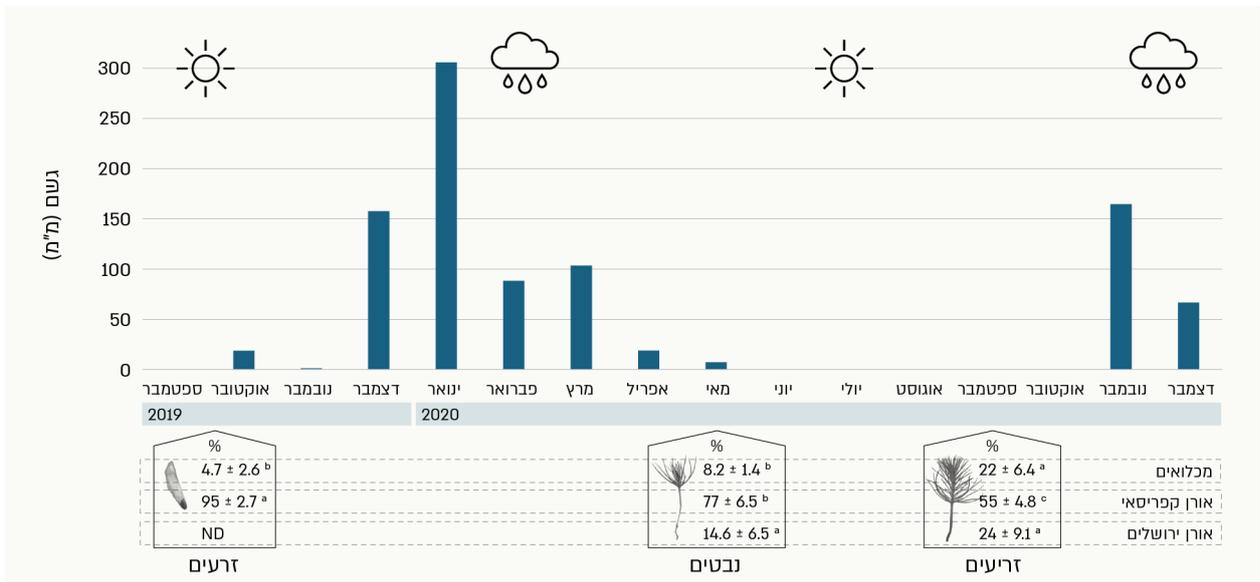
כדי לקבל תמונה ראשונית על שכיחות המכלואים ואון הכלאיים שלהם נסקרו בשלב הראשון של המחקר שלושה עומדים בוגרים של אורן קפריסאי שניטעו בשלושה אתרים שונים – קרו הכרמל (המוחרקה, ממוצע גשם שנתי 650 מ"מ), בקוע (512 מ"מ) וגילת (290 מ"מ) – שזוהו בהם מכלואים במחקרים קודמים (Korol et al., 1995; Korol et al., 2001). העצים באתרים בקוע וקרן הכרמל ניטעו ב-1975, ואילו אתר גילת צעיר יותר, והעצים בו ניטעו ב-1990. בחלקות האלה ניטעו אך ורק עצי אורן קפריסאי, ללא שילוב של אורן ירושלים, ולכן לא יכולנו לבצע מדידה מקבילה. נמצא כי שיעור המכלואים בשלושת האתרים נע בין 2.5% ל-9.4%. אנו משערים שהשוני בשיעור המכלואים בין האתרים

אף על פי ששכיחות המכלואים הייתה נמוכה יחסית בשלב הנבטים, היא עדיין הייתה גבוהה מזו שנמצאה בשלב הזרעים. אומנם ההבדל אינו מובהק, אולם ניתן להסבירו באמצעות מהלך הנביטה של האורן הקפריסאי, שגרם כנראה לירידה בשיעור הנבטים של המין הזה. כדי לבחון את האפשרות הזו נערך ניסוי נביטה מבוקר. תוצאות הניסוי הראו כי אורן ירושלים נבט 10 ימים לפני האורן הקפריסאי,

נמצא כי השיעורים הממוצעים של המכלואים שנאספו בחמשת העומדים היו  $4.7 \pm 2.6\%$  בזרעים,  $8.2 \pm 1.4\%$  בנבטים, ו- $21.6 \pm 6.4\%$  בזרעים (איור 2). השיעור הממוצע של הזרעים של אורן ירושלים עלה מ- $14.5 \pm 6.5\%$  בנבטים ל- $23.6 \pm 9.1\%$  בזרעים. לעומת זאת, השיעור הממוצע של פרטי אורן קפריסאי ירד בהדרגה מ- $95.4 \pm 2.1\%$  בזרעים, ל- $77.2 \pm 6.5\%$  בנבטים ועד ל- $54.7 \pm 4.8\%$  בזרעים ששרדו בקיץ.



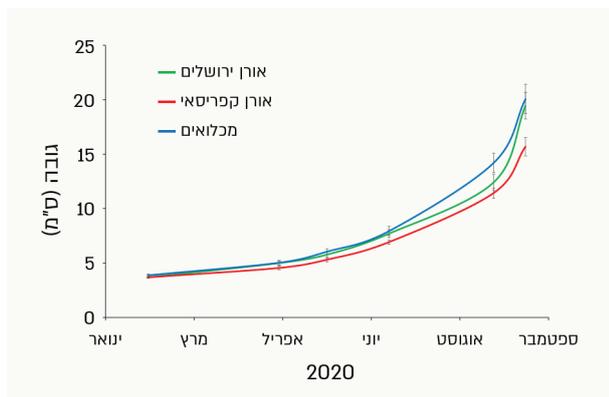
**איור 1**  
**השוואת מדדים שונים בין אורן קפריסאי למכלואים בשלושת האתרים**  
 מימין – נפח הגזע, משמאל – קוטר הגזע בגובה החזה (DBH) של המכלואים (אורן קפריסאי - אורן ירושלים) (עמודות לבנות) בהשוואה לאורן קפריסאי (עמודות שחורות) בשלושת אתרי המחקר. הקווים האנכיים מייצגים את שגיאת התקן של הממוצעים. ההשוואה בין המכלואים לבין אורן קפריסאי בכל אתר בנפרד נעשתה באמצעות ניתוחי פוסט הוק בעזרת מבחן Student's t-test ( $P < 0.05$ ;  $**P < 0.01$ ;  $***P < 0.001$ ).



**איור 2**  
**ממוצע שיעור ההכלאות בין אורן קפריסאי לאורן ירושלים בחמישה עומדי יער מתחדשים**  
 הדגימות נאספו בשלושה שלבים של התחדשות היער לפני הנביטה ובמהלך השנה הראשונה לאחר הנביטה: זרעים על העץ, נבטים בסוף החורף וזרעים בסוף הקיץ. בכל שלב מוצג שיעור המכלואים ושני המינים מתוך כלל המדגם ± שגיאת תקן. המשקעים המוצגים באיור הם ממוצע המשקעים בחמשת האתרים בעונת הדגימה. האותיות מייצגות את מובהקות ההבדלים בין הדגימות שנעשו במהלך השנה לגבי כל גנטיפ בנפרד. מתוך: Houminer et al., 2024.

במאמר של Houminer ואח' (2024). לאחר 10 חודשים גובהם של שתילי המכלואים ושל אורן ירושלים היה גדול באופן מובהק מזה של שתילי אורן קפריסאי (איור 3). אורן ירושלים והמכלואים שמרו על צימוח נמרץ יותר מזה של האורן הקפריסאי לאורך כל הניסוי בבית הרשת (איור 4). בתום הניסוי המשקל היבש של המכלואים לא היה שונה באופן מובהק מזה של אורן ירושלים, אך היה גבוה באופן מובהק מזה של האורן הקפריסאי (טבלה 1). המשקל היבש של השורשים נפח הגזע של אורן ירושלים

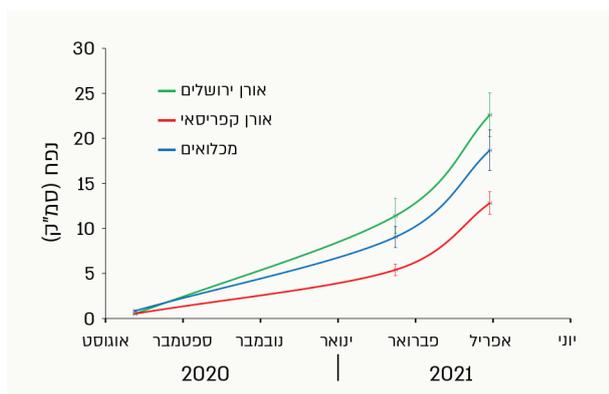
וכי שיעור הנביטה של אורן ירושלים היה גבוה משמעותית מזה של האורן הקפריסאי. טמפרטורת הנביטה המיטבית המדווחת עבור שני המינים דומה (15–20°C) (Thanos and Daskalaku, 2000), אך זרעי אורן ירושלים אינם שרויים בתרדמה, ואילו זרעי האורן הקפריסאי מפגינים מידה מסוימת של תרדמה (Thanos, 2000). נוסף על כך, לזרעי האורן הקפריסאי קליפה עבה יותר בהשוואה לזו של זרעי אורן ירושלים, ותכונה זו עשויה להסביר את שיעור הנביטה הנמוך יותר ואת קצב הנביטה האיטי יותר של האורן הקפריסאי (Thanos, 2000; Thanos and Daskalaku, 2000). שיעור הנביטה של האורן הקפריסאי היה נמוך יחסית לזה של המכלואים, וייתכן שחלק ממה שגרם לשיעור הנמוך הוא החשיפה הממושכת יותר לטורפי זרעים ולסיכונים אחרים, שכן ההישרדות בין פיזור הזרעים לנביטתם היא שלב קריטי במחזור החיים של הצמח. לפני הנביטה הזרעים חשופים לאיומים ביוטיים ואביוטיים רבים, כמו טורפים, פתוגנים ותנאי סביבה (Nathan et al., 2000; Gomez-Aparicio, 2008; Lev-Yadun and Ne'eman, 2013). כמו כן, הנביטה האיטית של האורן הקפריסאי עשויה לעכב את הצימוח בגלל תחרות עם צמחייה חד-שנתית שמשתלטת על השטח בשלבים המוקדמים של הנביטה. אין בידינו נתונים על מהלך הנביטה של המכלואים, שכן הזרעים ששימשו לניסוי המבוקר שלנו נאספו מעצי אורן קפריסאי "טהורים". עם זאת, העלייה בשכיחות המכלואים משלב הזרעים לשלב הנבטים, שנצפתה בניסוי השדה שלנו, עשויה לרמז שמהלך הנביטה של המכלואים דומה יותר לזה של אורן ירושלים מבחינת שיעור התרדמה ומשך הנביטה. ואכן, בניסוי בית הרשת שיתואר להלן, וגודלו בו נבטים בתנאים מבוקרים למחצה, נצפה שהמכלואים היו דומים יותר לאורן ירושלים בקצב ההתפתחות המוקדמת שלהם, בהתבסס על הגובה ונפח הגבעול של הזרעים (איור 3, איור 4, טבלה 1).



איור 3

#### גובה השתילים שגודלו בבית רשת

אורן ירושלים בירוק, אורן קפריסאי באדום והמכלואים בכחול. הקווים האנכיים מייצגים את שגיאת התקן של הממוצע עבור כל מדידה. המדידות נערכו בשנת 2020 והחלו כחודשיים לאחר הנביטה. מתוך: Houminer et al., 2024.



איור 4

#### קצב הצמיחה של השתילים שגודלו בבית רשת מבוסס נפח הגבעול

אורן ירושלים בירוק, אורן קפריסאי באדום והמכלואים בכחול. הקווים האנכיים מייצגים את שגיאת התקן של הממוצע עבור כל מדידה. המדידות החלו 10 חודשים לאחר הנביטה. מתוך: Houminer et al., 2024.

#### קצב צמיחה ותכונות מורפולוגיות של שתילי אורן ירושלים, אורן קפריסאי והמכלואים

שלב זה של המחקר נועד לבחון את התכונות המורפולוגיות של המכלואים בהשוואה לאלה של אורן קפריסאי ואורן ירושלים. התכונות שנבדקו היו קצב צימוח ותכונות מורפולוגיות ואנטומיות, תוך תשומת לב לתכונות שיכולות להקנות יתרון הישרדותי באקלים ים תיכוני (כמות משקעים שנתית 400–700 מ"מ) ובאקלים צחיח למחצה (200–400 מ"מ).

הזרעים שנאספו בסקר שתואר לעיל הונבטו וגודלו בבית רשת. מדדי צימוח נמדדו מדי חודש במשך כשנה וחצי, ומדדים מורפולוגיים נמדדו בתום הניסוי. תיאור מפורט של גידול השתילים והשיטות שהשתמשנו בהן בניסוי מוצג

אורן קפריסאי		מכלואים		אורן ירושלים		מובהקות	R <sup>2</sup>	מדד
CV	ממוצע ± SE	CV	ממוצע ± SE	CV	ממוצע ± SE			
30.2	63 <sup>b</sup> ± 4.7	60	112 <sup>a</sup> ± 17.4	45.19	130 <sup>a</sup> ± 14.9	0.0062	0.479	משקל כולל יבש (גרם)
28.8	30.3 <sup>b</sup> ± 2.1	66.5	51.9 <sup>ab</sup> ± 8.9	43.2	55.6 <sup>a</sup> ± 6.0	0.0346	0.139	משקל שורש יבש (גרם)
17.6	0.96 <sup>a</sup> ± 0.04	29.1	0.93 <sup>a</sup> ± 0.07	26.7	0.75 <sup>b</sup> ± 0.05	0.012	0.452	יחס שורש-נוף (משקל יבש)
24.9	41.5 <sup>b</sup> ± 2.6	33.3	46.75 <sup>b</sup> ± 3.9	26.1	75.2 <sup>a</sup> ± 4.9	<0.0001	0.465	גובה השתיל (ס"מ)
17	1.1 <sup>a</sup> ± 0.04	28.2	1.3 <sup>a</sup> ± 0.09	23.3	1.3 <sup>a</sup> ± 0.07	0.137	0.085	קוטר בסיס הגזע DBS (ס"מ)
61.3	12.8 <sup>b</sup> ± 1.3	76.6	18.7 <sup>ab</sup> ± 2.3	70.7	22.6 <sup>a</sup> ± 2.4	0.0007	0.115	נפח הגזע (סמ"ק)
13.3	0.13 <sup>b</sup> ± 0.0002	14.2	0.14 <sup>b</sup> ± 0.0002	10.5	0.016 <sup>a</sup> ± 0.0002	<0.0001	0.472	נפח RGR (סמ"ק ליום)
31.7	0.18 <sup>c</sup> ± 0.01	53.1	0.33 <sup>b</sup> ± 0.04	23.8	0.75 <sup>a</sup> ± 0.04	<0.0001	0.753	שיעור המחטים היובנליות (משקלן היבש מתוך המשקל היבש של כלל המחטים)
13.1	14.9 <sup>a</sup> ± 0.49	11.7	14.3 <sup>a</sup> ± 0.42	40.6	9.07 <sup>b</sup> ± 0.92	0.0009	0.543	אורך מחטים בוגרות (ס"מ)
88.9	0.04 <sup>a</sup> ± 0.003	90.9	0.04 <sup>a</sup> ± 0.003	62.4	0.01 <sup>b</sup> ± 0.0006	<0.0001	0.68	משקל יבש מחטים בוגרות (גרם)
28.8	168 <sup>a</sup> ± 6.9	22.5	159 <sup>a</sup> ± 5.3	17.4	140 <sup>b</sup> ± 3.4	0.0001>	0.54	מסת העלה לשטח (LMA) של מחטים בוגרות (גרם משקל יבש למ"ר)

**טבלה 1**

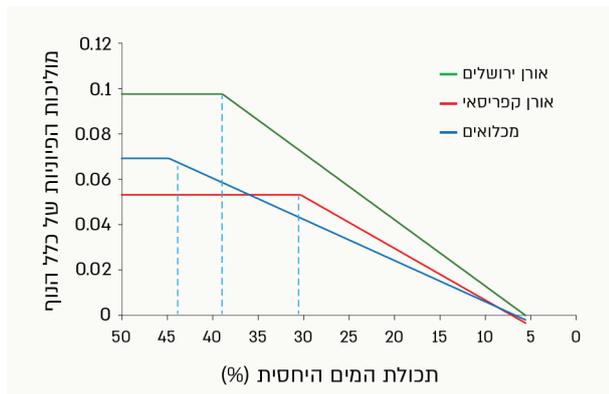
**מדדי צמיחה ותכונות מורפולוגיות בשתילי אורן ירושלים, אורן קפריסאי והמכלואים בסוף הניסוי שנערך בבית הרשת**

מבחן ANOVA חד-כיווני. הנתונים מוצגים כממוצעים של 20 שתילים מכל גנוטיפ (אורן ירושלים, אורן קפריסאי והמכלואים) ± שגיאת תקן (SE) ומקדם ההשתנות (CV). אותיות עליונות שונות מציינות הבדלים מובהקים בין שלושת הגנוטיפים עבור כל מדד או תכונה בנפרד (P < 0.05). מתוך: Houminer et al., 2024.

**בחינת התכונות האקופיזיולוגיות של שתילים מייחורים של שלושת הגנוטיפים, עם דגש על מאזן המים**

כהשלמה לתכונות המורפולוגיות שהוצגו בקטע הקודם, שלב זה של המחקר נועד לבחון את התכונות האקופיזיולוגיות של המכלואים בהשוואה לאלה של אורן קפריסאי ואורן ירושלים, תוך התמקדות בתכונות הקשורות לאסטרטגיית ניצול המים של העץ. בניסוי בוצע מעקב רציף אחר מאזן המים של שתילים מייחורים של אורן ירושלים, אורן קפריסאי ומכלואים שהראו און כלאיים בשטח. המעקב בוצע באמצעות מערכת ליזימטרים הכוללת שליטה על ההשקיה וניטור מדויק של קצב הדיות על ידי מערכת משקלים וחיישני קרקע ואטמוספירה (Houminer et al., 2022). הניסוי נערך בחממה מתחילת ספטמבר 2020 ועד אמצע אוקטובר 2020 בתנאים מבוקרים למחצה (אור יום טבעי ומערכת אוורור). מהנתונים שהתקבלו בניסוי חושבו קצב הדיות של הצמח השלם, מוליכות הפיוניות של כלל הנוף

היו גבוהים באופן מובהק מאלה של האורן הקפריסאי, בעוד שהמכלואים הציגו ערכי ביניים שלא היו שונים באופן מובהק משני המינים. גובה השתילים וקצב הגידול היחסי (RGR) היו גבוהים באופן מובהק אצל אורן ירושלים בהשוואה לאורן הקפריסאי ולמכלואים. קוטר בסיס הגבעול (DBS) היה דומה בשלושת הגנוטיפים. היחס שורש-נוף, אורך המחטים הבוגרות, ויחס המסה של המחטים לשטח הפנים שלהן (LMA) היו דומים אצל המכלואים והאורן הקפריסאי, וגבוהים באופן מובהק מאלה של אורן ירושלים. שיעור המחטים היובנליות היה גבוה ביותר באורן ירושלים, בינוני במכלואים ונמוך באורן הקפריסאי, וכל ההבדלים האלה היו מובהקים. בכל המדדים שנמדדו בניסוי, מקדם ההשתנות (CV) של המכלואים היה גבוה מזה של אורן קפריסאי ואורן ירושלים, למעט מקדם ההשתנות של אורך המחטים הבוגרות והמסה שלהן לשטח, שהיו גבוהים יותר באורן הקפריסאי.



איור 6

**מוליכות הפיוניות של כלל הנוף ( $g_{sc}$ ) בצהרי היום כפונקציה של תכולת המים היחסית במצע הגידול (SWC)**

אורן ירושלים בירוק, אורן קפריסאי באדום ומכלואים בכחול. הקווים המקווקווים בתכלת מציינים את נקודות העקה הפיזיולוגיות הקריטיות ( $\theta$ ). מתוך: Houminer et al., 2022.

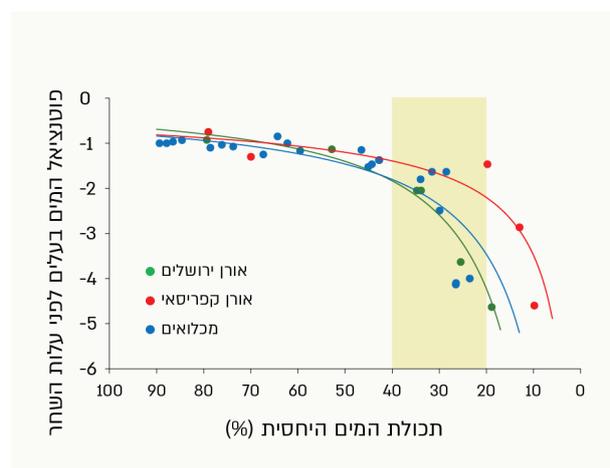
של המכלואים אומנם הייתה גבוהה יותר מזו של האורן הקפריסאי, אך לא נבדלה ממנה באופן מובהק (Houminer et al., 2022).

**דין**

בשל החשיבות הכלכלית של מיני אורן רבים נחקר נושא ההכלאה הבין-מינית בסוג זה יותר מאשר בכל סוג עץ אחר, בעיקר לשם שיפור תכונות כגון קצב צימוח, רבייה ועמידות בפני מזיקים ומחלות (Critchfield, 1975; White et al., 2007). מיני אורן מסוימים, כמו אורן הצנובר (*P. pinea*), אינם מכליאים עם מינים אחרים, בעוד מינים כמו *P. ponderosa*, *P. sylvestris* ו-*P. strobus*, מכליאים בקלות גם עם מיני אורן שתפוצתם הגאוגרפית אינה חופפת להם (Critchfield, 1975; Wright, 1976). נראה כי לרוב המכלואים בין מיני אורן יש רמה כלשהי של און כלאיים (Critchfield, 1975; Rockwood et al., 1991), ובמקרים מסוימים הדבר בא לידי ביטוי גם בעמידות מוגברת למזיקים (Blada, 2004; Mitchell et al., 2013). בסקר שערכנו נבחנה שכיחות המכלואים בעצים בוגרים ביערות נטועים, ונמצא כי ביערות הדרומיים יותר עצי המכלוא היו גדולים משמעותית מעצי אורן קפריסאי השכנים, מה שמרמז שבתנאים צחיחים היתרון בקצב הצמיחה של המכלואים על פני אורן קפריסאי גדול יותר. עם זאת, אין לפרש עובדה זו כאון כלאיים, משום שאון כלאיים מוגדר כתופעה שבה המכלוא הוא בעל ביצועים טובים יותר מאשר כל אחד מהוריו, ואילו בשלושת העומדים שנבחנו נעדר מין ההורה השני, אורן ירושלים.

( $g_{sc}$ ), יעילות ניצול המים (WUE) ונקודת העקה הפיזיולוגית הקריטית ( $\theta$ ). נקודת העקה הפיזיולוגית מוגדרת כתכולת המים היחסית בקרקע (SWC) שבה הצמח מתחיל לחוות עקה ומגיב בסגירת הפיוניות. נוסף על כך, נמדד פוטנציאל המים בעלים לפני עלות השחר ( $\Psi_{pd}$ ) כדי למצוא קשר בינו לבין תכולת המים היחסית במצע הגידול. מדידה זו בוצעה פעמיים בשבוע במהלך עקת יובש באמצעות תא לחץ. תיאור מפורט של השיטות בניסוי זה מוצג אצל Houminer ואח' (2022).

נמצא כי פוטנציאל המים בעלים לפני עלות השחר החל לרדת באורן ירושלים ובמכלואים כאשר תכולת המים היחסית במצע הגידול ירדה מתחת ל-38%, בעוד שבאורן קפריסאי הירידה בפוטנציאל המים החלה כאשר תכולת המים היחסית במצע הגידול ירדה מתחת ל-20% (איור 5). מגמה דומה נצפתה גם עבור נקודת העקה הקריטית (איור 6): במכלואים נקודה זו לא הייתה שונה באופן מובהק מזו של אורן ירושלים (44%-ו-37%, בהתאמה), בעוד שבאורן קפריסאי היא הייתה נמוכה באופן מובהק (30%). התוצאות האלה תואמות את תוצאות המדידות של תכולת המים היחסית בקרקע במערכת הליזימטרים שתוארה לעיל, שהראו ירידה בשלושת הגנוטיפים בקצב הדיות ובמוליכות הפיוניות בין היום ה-15 ליום ה-20 של הניסוי, כאשר תכולת המים היחסית בקרקע ירדה מתחת ל-40%. נוסף על כך, מוליכות הפיוניות של אורן ירושלים גבוהה באופן משמעותי מזו של אורן קפריסאי והמכלואים. מוליכות הפיוניות



איור 5

**פוטנציאל המים בעלים לפני עלות השחר ( $\Psi_{pd}$ ) כפונקציה של תכולת המים היחסית במצע הגידול (SWC)**

האזור הצהוב מציין את הטווח של תכולת המים היחסית שמביא לירידת פוטנציאל המים בעלים. כל נקודה באיור מייצגת ממוצע מדידות של שלושה ענפים שונים. מתוך: Houminer et al., 2022.

גבוהים יותר בהשוואה לאורן קפריסאי (Houminer et al., 2022). הערכים האלה עשויים להיות תוצאה של צפיפות פיוניות גבוהה יותר או נקבים גדולים יותר של הפיוניות, אולם המדדים האלה לא נבחנו במחקר הנוכחי. דיות ומוליכות פיוניות נמצאו במתאם חיובי עם יכולת פוטוסינתטית, מה שמרמז על קצב פוטוסינתזה גבוה יותר וצמיחה מהירה יותר של אורן ירושלים כאשר יש מים זמינים. נוסף על ההיבטים הפיזיולוגיים, ידוע כי מתקיימים יחסי הדדיות (מוטואליזם) בין אורנים לפטריות מיקוריזה, ושהפטריות חיוניות להתפתחות העצים ולבריאותם. הפטריות יוצרות תפטר המגדיל משמעותית את שטח הקליטה של מים ומינרלים (בייחוד זרחן) מהקרקע, והן מקבלות מהעץ פחמימות המיוצרות בתהליך הפוטוסינתזה. המיקוריזה תורמת ליכולתם של האורנים להתמודד עם תנאי עקה, כגון יובש, מחלות וסביבת קרקע דלה בנוטריינטים. אומנם במחקר זה לא בחנו את נושא המיקוריזה באופן ישיר, אך ידוע מן הספרות שכל מיני האורנים מקיימים קשרים סימביוטיים עם מגוון פטריות מיקוריזה, וכי קיימים הבדלים בהרכב מיני המיקוריזה בין אורן ירושלים לאורן קפריסאי. מיני פטריות המשותפים לשני המינים הם *Suillus collinitus* ו-*Cenococcum geophilum*, מינים כגון *Russula spp.* נפוצים יותר באורן קפריסאי, ו-*Scleroderma spp.* ו-*Geopora spp.* תועדו בעיקר באורן ירושלים (Dyshko et al., 2024; Herol et al., 2024). עם זאת, הרכב אוכלוסיית המיקוריזה מושפע בעיקר מתנאי בית הגידול (כגון סוג הקרקע, לחות, pH) וכחות ממין העץ (Hazard et al. 2013).

בעת עקת יובש פחתה מוליכות הפיוניות של אורן ירושלים מוקדם יותר מאשר זו של אורן קפריסאי, מה שמעיד על רגישות גבוהה יותר של אורן ירושלים לירידה בתכולת המים היחסית בקרקע (איור 6). גם מחקרים קודמים הראו התנהגות דומה של אורן ירושלים, שהובילה להגדלת שיעור ההישרדות שלו בתקופת בצורת על חשבון ירידה בייצור הביומסה (Klein et al., 2011, 2013). ערכים גבוהים של דיות ומוליכות פיוניות כשיש מים זמינים, וסגירה מוקדמת של הפיוניות כשזמינות המים פוחתת, מהווים יתרון באזורים עם עונת גשמים קצרה. לעומת זאת, עצים הסוגרים מאוחר את הפיוניות ושומרים על קצב צמיחה גבוה למשך זמן רב יותר, חשופים לסיכון גבוה יותר של תמותה הנגרמת מעקת יובש במהלך בצורת ממושכת. תוצאות המחקר הנוכחי הראו כי המכלואים ואורן ירושלים מפגינים אסטרטגיית ניצול מים שמרנית יותר בהשוואה לאורן קפריסאי על ידי סגירת הפיוניות בשלב מוקדם יותר של התפתחות עקת יובש, ואכן אורן קפריסאי נפוץ באופן טבעי באזורים המאופיינים באקלים יציב ולח יותר. מכאן ניתן להסיק שאורן קפריסאי מתאים פחות מאורן ירושלים לאקלים הצחיח למחצה, המאופיין בתקופות יובש ממושכות. לעומת

בסקר השני, ששכיחות המכלואים ביערות מתחדשים נבחנה בו, מצאנו עלייה משמעותית בשכיחות המכלואים בין שלב הנבטים בסוף החורף הראשון לאחר הנביטה לשלב הזריעים ששרדו לאחר הקיץ הראשון (איור 2). יש לציין כי גם שכיחותו של אורן ירושלים עלתה בין השלבים הללו. העלייה בשכיחות אורן ירושלים והמכלואים מצביעה על יתרון בשלב ההתבססות המוקדם של שני הגנטטיפים בהשוואה לאורן קפריסאי. ידוע כי הישרדות הנבטים במהלך העונה היבשה הראשונה היא צוואר בקבוק קריטי בהתחדשות יערות, בייחוד באזורים יבשים (Osem et al., 2020; Smithers and North, 2013). השילוב של קרקע יבשה, מערכת שורשים לא מפותחת, רקמות הגנה בלתי מפותחות ורמת סוכרים נמוכה יוצר מחסור חריף במים ובפחמן לצד פגיעות רבה (רגישות גבוהה יחסית לעקות), המובילים לתמותת הנבטים (Johnson and Cline, 1991; Ivanov et al., 2019). מאידך גיסא, צימוח מהיר של הנבט מתחת לקרקע ומעליה מאפשר התבססות טובה יותר במהלך החורף, וגם מהווה יתרון בתחרות עם צמחים חד-שנתיים. לכן, הישרדות השתילים בעונת היובש הראשונה תלויה במידה רבה בנביטה מוקדמת ובצמיחה מהירה בחורף, כאשר הקרקע עדיין רטובה (Johnson and Cline, 2007; Padilla and Pugnaire, 1991). לפיכך, שרירותם הגבוהה יותר של אורן ירושלים והמכלואים שצוינה לעיל עשויה לנבוע מיתרוןם של הגנטטיפים שלהם, המתבטא בנביטה מוקדמת ובצימוח מהיר (איור 3, איור 4, טבלה 1). יתרון נוסף הוא במערכת השורשים המפותחת יותר במכלואים ובאורן ירושלים בהשוואה לאורן קפריסאי (טבלה 1). צימוח שורשים לעומק הקרקע במהלך העונה הלחה הראשונה הוא גורם חשוב למניעת כשל הידראולי במהלך העונה היבשה (Tumber-Dávila et al., 2022). ראוי לציין כי היחס שורש-נוף, שנמדד בניסוי המבוקר שלנו, היה גבוה יותר באורן קפריסאי ובמכלואים בהשוואה לאורן ירושלים. עם זאת, מערכת השורשים הייתה הגדולה ביותר באורן ירושלים, לאחר מכן במכלואים, והקטנה ביותר באורן קפריסאי.

למיטב ידיעתנו, מחקר זה הוא הראשון שהשווה מאפיינים פיזיולוגיים של אורן ירושלים ואורן קפריסאי בתגובה לעקת יובש. מדדים שונים, כגון מוליכות הפיוניות וקצב הפוטוסינתזה, מספקים הסבר לתגובה הפיזיולוגית של הצמח לבצורת (Halperin et al., 2017). כאשר מתפתחת עקת יובש, צמחים שמרנים סוגרים את הפיוניות מוקדם יחסית כדי למנוע אובדן מים, בעוד צמחים שאינם שמרנים משאירים פיוניות פתוחות למשך זמן ארוך יותר, תוך סיכון מוגבר להתייבשות (Moshelion et al., 2015; Bhusal et al., 2021). בניסוי הליזימטרים בחנו ייחורים, לפני תחילת עקת היובש, ואורן ירושלים הראה ערכי דיות ומוליכות פיוניות

## סיכום

אנו סבורים כי נביטה מוקדמת יחד עם קצב צימוח מהיר של הנבטים של אורן ירושלים והמכלואים של אורן ירושלים עם אורן קפריסאי, מעניקים להם יתרון על אורן קפריסאי בהתבססות מוקדמת ובהשרדות במהלך הקיץ הראשון לאחר הנביטה. הישרדות הזריעים במהלך הקיץ הראשון תלויה גם באסטרטגיה חסכונית של שימוש במים, בפיתוח מנגנוני הגנה ובצבירת עתודות סוכרים (Johnson and Cline, 1991; Padilla and Pugnaire, 2007; Osem et al., 2013) הקשורים כולם לכושר צימוח מהיר אחר הנביטה. נראה שלמכלואים יש שילוב של תכונות המאפשר להם הישרדות רבה יותר בקיץ הראשון לעומת אורן קפריסאי. מחסור במים הוא אחת המגבלות הסביבתיות העיקריות עבור צמחים בכלל ועצים בפרט באזור הים תיכוני, ומשפיע עיקרי על קצב הגידול והתפקוד הפיזיולוגי של העץ (Camarero et al., 2018; Granda et al., 2018). גמישות פנוטיפית ושינויים מורפולוגיים קשורים ישירות לתגובות פיזיולוגיות, והם מהווים חלק ממנגנוני ההסתגלות של צמחים לשינויים סביבתיים כדוגמת מחסור במים (Galmés et al., 2005). יערות האורן בישראל מכילים מגוון רחב של גנוטיפים שיובאו ממדינות שונות, לצד גנוטיפים מקומיים. היערות האלה נתונים ללחץ ברירה משמעותי, המתרחש, בין השאר, בשל התמודדות משולבת עם תנאי אקלים צחיחים למחצה ועם מזיקים שונים. אי לכך, אנו מעריכים כי הכלאה בין אורן קפריסאי לאורן ירושלים עשויה להוביל לשילוב תכונות מועילות, שיגבירו את ההתאמה והעמידות של יערות האורן לאתגרים הנובעים משינוי האקלים. ראוי להמשיך ולעקוב אחר תופעת המכלואים ביערות המתחדשים ואף לשקול שילוב של מכלואים בחידוש יערות האורן באזורים הצחיחים למחצה של ישראל.

## תודות

המחקר מומן על ידי קק"ל, והוגש כעבודת תזה לתואר שלישי לאוניברסיטה העברית בירושלים על ידי הסטודנטית נעמי הומינר בהנחיה משותפת של ד"ר רקפת דוד-שורץ וד"ר יגיל אסם ממכון וולקני ופרופ' יוסי ריוב מהאוניברסיטה העברית בירושלים.

זאת, אורן ירושלים והמכלואים מגיבים בסגירת הפיוניות מוקדם יותר, כלומר הם שמרנים יותר מבחינת מאזן המים, ולכן מותאמים יותר לחגורת האקלים במפגש בין האקלים הים תיכוני לאקלים הצחיח למחצה בבתות הספר של צפון הנגב (Fox et al., 2018).

כאמור, נמצא במחקר הנוכחי ששתילי המכלואים היו דומים לשתילי אורן ירושלים בקצב הצמיחה, ודומים לאורן קפריסאי ביחס שורש-נוף, במסת העלים לשטח (LMA) וכן באורך המחטים הבוגרות ובמשקלן. מעניין לציין, שכל אחת מהתכונות של המכלואים הייתה דומה לאחד ההורים ולא הציגה ערכי ביניים או און כלאיים. דפוס זה נצפה גם במחקר הקודם שלנו על ייחורים מושרשים של מכלואים בוגרים ושל הוריהם (Houminer et al., 2022). לא הצלחנו לקבוע מדוע תכונה אחת נשלטת על ידי אורן ירושלים, בעוד שתכונה אחרת נשלטת על ידי אורן קפריסאי. עם זאת, השילוב הייחודי של התכונות שמאפיין את המכלואים עשוי להעניק להם יתרונות מסוימים. לדוגמה, בעוד שאורן ירושלים ידוע כמותאם יותר ליובש בהשוואה לאורן קפריסאי (Schwartz et al., 2016), מאורן ירושלים לכנימת המצוקוקוס (Mendel, 1998). מדמוני (2000) מצאה כי מכלואים של אורן ירושלים ואורן קפריסאי היו עמידים יותר לכנימה בהשוואה לאורן ירושלים. נוסף על כך, עבור מרבית המדדים של קצב הצמיחה והתכונות המורפולוגיות, השונות של התכונות, שנמדדה באמצעות מקדם השונות (CV), הייתה גבוהה יותר בשתילי המכלואים בהשוואה לשני ההורים. שונות פנוטיפית זו משקפת ככל הנראה שונות גנטית גבוהה יותר, שהיא תוצאה ידועה של הכלאה בין-מינית. שונות גנטית גבוהה עשויה לתרום לכושר ההתאמה ולחוסן של יערות בהתמודדות עם שינוי האקלים ועם שינויי סביבה אחרים (Aitken and Bemmels, 2016; Zeng and Fischer, 2021; Bush, 2022).

במחקר הנוכחי נמצא שבדורות מתקדמים מתקיימת הכלאה בכל הכיוונים, כולל הכלאות בין המכלואים וגם הכלאות חוזרות לשני ההורים (Back cross) (Houminer et al., 2024). לפיכך, אנו צופים שתהליך ההכלאה יוביל למעבר של גנים (Introgression) הקשורים להתאמה ליובש ולעמידות למזיקים ולמחלות בשני הכיוונים (הכלאות מחזירות לאורן ירושלים ולאורן קפריסאי). עם זאת, אין להוציא מכלל אפשרות גם תוצאות רצויות פחות, כגון ירידה בתכונות רצויות של המכלואים, כפי שנצפה במקרים מסוימים של הכלאות בין מין מקומי למין זר (Outbreeding depression) (Goto et al., 2011).

- Fox H, Doron-Faigenboim A, Kelly G, Bourstein R, Attia Z, Zhou J, et al. 2018. Transcriptome analysis of *Pinus halepensis* under drought stress and during recovery. *Tree Physiology*, 38(3), 423–441.
- Gallis AT and Panetsos KP. 1997. Use of cortical terpenes to discriminate *Pinus brutia* (Ten.), *Pinus halepensis* (Mill.) and their hybrids. *Silva Genetica*, 46, 82–88.
- Galmés J, Cifre J, Medrano H, and Flexas J. 2005. Modulation of relative growth rate and its components by water stress in Mediterranean species with different growth forms. *Ecophysiology*, 145, 21–31.
- Ganopoulos I, Aravanopoulos F, Madesis P, Pasentsis K, Bosmalı I, Ouzounis C, et al. 2013. Taxonomic identification of Mediterranean pines and their hybrids based on the high resolution melting (HRM) and *trnL* approaches: From cytoplasmic inheritance to timber tracing. *PLoS One*, 8(4), e60945.
- Gernandt DS, Geada López G, Garcia SO, and Liston A. 2005. Phylogeny and classification of Pinus. *Taxon*, 54(1), 29–42.
- Gomez-Aparicio L. 2008. Spatial patterns of recruitment in Mediterranean plant species: Linking the fate of seeds, seedlings and saplings in heterogeneous landscapes at different scales. *Journal of Ecology*, 96, 1128–1140.
- Goto S, Iijima H, Ogawa H, and Ohya K. 2011. Outbreeding depression caused by intraspecific hybridization between local and nonlocal genotypes in *Abies sachalinensis*. *Restoration Ecology*, 19, 243–250.
- Granda E, Gazol A, and Julio J. 2018. Functional diversity differently shapes growth resilience to drought for co-existing pine species. *Journal of Vegetation Science*, 29, 265–275.
- Gratani L. 2014. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances in Botany*, 208747.
- Grotkopp E, Rejmánek M, Sanderson MJ, and Rost TL. 2004. Evolution of genome size in pines (*Pinus*) and its life-history correlates: Supertree analyses. *Evolution*, 58(8), 1705–1729.
- Halperin O, Gebremedhin A, Wallach R, and Moshelion M. 2017. High-throughput physiological phenotyping and screening system for the characterization of plant – environment interactions. *The Plant Journal*, 89(4), 839–850.
- Hazard C, Gosling P, Van der Gast CJ, Mitchell DT, Doohan FM, and Bending GD. 2013. The role of local environment and geographical distance in determining community composition of arbuscular mycorrhizal fungi at the landscape scale. *The ISME Journal*, 7(3), 498–508.
- Herol L, Avidar M, Yirmiahu S, Zach YY, Klein T, Shemesh H, et al. 2024. Context-dependent benefits of forest soil addition on Aleppo pine seedling performance under drought and grass competition. *Mycorrhiza*, 34, 217–227.
- Houminer N, Doron-faigenboim A, Shklar G, De la torre AR, Neale D, Korol L, et al. 2021. Transcriptome-based single-nucleotide polymorphism markers between *Pinus brutia* and *Pinus halepensis* and the analysis of their hybrids. *Tree Genetics and Genomes*, 17, 14.
- Houminer N, Osem Y, Riov J, Sherman A, Rozen A, Sela H, et al. 2024. Exploring interspecific hybridization dynamics in artificial forests of *Pinus brutia* and *P. halepensis*: Implications for sustainable afforestation. *Molecular Ecology*, 33, e17413.
- Houminer N, Riov J, Moshelion M, Osem Y, and David-schwartz R. 2022. Comparison of morphological and physiological traits between *Pinus brutia*, *P. halepensis*, and their vigorous F<sub>1</sub> hybrids. *Forests*, 13, 1477.
- מדמוני ע. 2000. **מכלואים של אורן ברוטיה X אורן ירושלים עם דגש על חיוניות נביטה של גרגירי אבקה של אורן ים-תיכוניים** (עבודה לקבלת תואר דוקטור). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- Aitken SN and Bemmels JB. 2016. Time to get moving: Assisted gene flow of forest trees. *Evolutionary Applications*, 9, 271–290.
- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, 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, 660–684.
- Anderegg WRL, Hicke JA, Fisher RA, Allen CD, Aukema J, Bentz B, et al. 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist*, 208, 674–683.
- Attia Z, Domec JC, Oren R, Way DA, and Moshelion M. 2015. Growth and physiological responses of isohydric and anisohydric poplars to drought. *Journal of Experimental Botany*, 66, 4373–4381.
- Barredo JI, Mauri A, Caudullo G, and Dosio A. 2018. Assessing shifts of Mediterranean and arid climates under RCP4.5 and RCP8.5 climate projections in Europe. *Pure and Applied Geophysics*, 175, 3955–3971.
- Bhusal N, Lee M, Lee H, Adhikari A, Reum A, Han A, et al. 2021. Science of the Total Environment Evaluation of morphological, physiological, and biochemical traits for assessing drought resistance in eleven tree species. *Science of the Total Environment*, 779, 146466.
- Blada I. 2004. Genetic variation in growth and blister-rust resistance in a *Pinus strobus* x *P. wallichiana* hybrid population. *Silva Genetica*, 53, 33–41.
- Bonneh O. 2000. Management of planted pine forests in Israel: Past, present, future. In: Ne'eman G and Trabaud L (Eds). *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Leiden: Backhuys Publishers, pp. 377–390.
- Bush D. 2022. Long-term research reveals potential role of hybrids in climate-change adaptation. A commentary on expansion of the rare *Eucalyptus risdonii* under climate change through hybridisation with a closely related species despite hybrid inferiority. *Annals of Botany*, 129, i–iii.
- Camarero JJ, Gazol A, Sanguesa-barreda G, Cantero A, Sánchez-salguero R, Sánchez-miranda A, et al. 2018. Forest growth responses to drought at short- and long-term scales in Spain: Squeezing the stress memory from tree rings. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 1–11.
- Choat B, Brodribb TJ, Brodersen CR, Duursma RA, López R, and Medlyn BE. 2018. Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, 558, 531–539.
- Cramer W, Guiot J, Fader M, Garrabou J, Gattuso J, Iglesias A, et al. 2018. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8, 972–980.
- Critchfield WB. 1975. Interspecific hybridization in Pinus: A summary review. *Proceedings 14th Meeting Canadian Tree Improvement Association*, 2, 99–105.
- David-Schwartz R, Paudel I, Mizrahi M, Delzon S, Cochard H, Lukyanov V, et al. 2016. Indirect evidence for genetic differentiation in vulnerability to embolism in *Pinus halepensis*. *Frontiers in Plant Science*, 7, 768.
- Dungey HS. 2001. Pine hybrids – A review of their use performance and genetics. *Forest Ecology and Management*, 148, 243–258.
- Dyshko V, Hilszczańska D, Davydenko K, Matic S, Moser WK, Borowik P, et al. 2024. An overview of mycorrhiza in pines: Research, species, and applications. *Plants* (Basel), 13(4), 506.

- Osem Y, Ginsberg P, Tauber I, Atzmon N, and Perevolotsky A. 2008. Sustainable management of mediterranean planted coniferous forests: An Israeli definition. *Journal of Forestry*, 106, 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.
- Padilla FM and Pugnaire FI. 2007. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology*, 21, 489–495.
- Panetsos KP. 1975. Natural hybridization between *Pinus halapensis* and *Pinus brutia* in Greece. *Silvae Genetica*, 24, 163–168.
- Panetsos KP. 1986. Genetics and breeding in the group halepensis. *CIHEAM – Options Méditerranéennes*, 86, 81–88.
- Panetsos KP, Scaltsoyiannes A, Aravanopoulos F, Dounavi A, and Dimitrakopoulos A. 1997. Identification of *P. brutia* Ten., *P. halepensis* Mill. and their putative hybrids. *Silvae Genetica*, 46(5), 253–257.
- Porth I and El-kassaby YA. 2014. Assessment of the genetic diversity in forest tree populations using molecular markers. *Diversity*, 6, 283–295.
- Rockwood DL, Harding KJ, and Nikles DG. 1991. Variation in the wood properties of the *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F<sub>1</sub> hybrid, its parental species, and backcross to *Pinus elliottii* in Australia. *Proceedings-Southern Forest Tree Improvement Conference*, 21, 233–240.
- Scaltsoyiannes A, Panetsos KP, Economou A, and Tsoulpha P. 1994. Micropropagation of the pine hybrid *Pinus brutia* (Ten.) *Pinus halepensis* (Mill.) by culturing fascicle shoots. *Annals of Forest Science*, 51, 175–182.
- Smithers BV and North MP. 2020. Mechanisms of species range shift: Germination and early survival of Great Basin bristlecone pine and limber pine. *Plant and Soil*, 457, 167–183.
- Thanos CA. 2000. Ecophysiology of seed germination in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. In: Ne'eman G and Trabaud L (Eds). *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Leiden: Backhuys Publishers. pp 37–50.
- Thanos CA and Daskalidou EN. 2000. Reproduction in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. In: Ne'eman G and Trabaud L (Eds). *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Leiden: Backhuys Publishers. pp. 79–90.
- Tumber-Dávila SJ, Schenk HJ, Du E, and Jackson RB. 2022. Plant sizes and shapes above and belowground and their interactions with climate. *New Phytologist*, 235, 1032–1056.
- White TL, Adams WT, and Neale DB. 2007. Tree improvement programs – structure, concepts and importance. In: White TL, Adams WT, and Neale DB (Eds). *Forest Genetics*. CABI. pp. 285–302.
- Wright JW and Jonathan W. 1976. *Introduction to Forest Genetics*. 1<sup>st</sup> ed. New York: Academic Press.
- Zanewich KP, Pearce DW, and Rood SB. 2018. Heterosis in poplar involves phenotypic stability: Cottonwood hybrids outperform their parental species at suboptimal temperatures. *Tree Physiology*, 38, 789–800.
- Zeng X and Fischer GA. 2021. Using multiple seedlots in restoration planting enhances genetic diversity compared to natural regeneration in fragmented tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 482, 118819.
- Ivanov YV, Kartashov AV, Zlobin IE, Sarvin B, Stavrianidi AN, and Kuznetsov VV. 2019. Water deficit-dependent changes in non-structural carbohydrate profiles, growth and mortality of pine and spruce seedlings in hydroculture. *Environmental and Experimental Botany*, 157, 151–160.
- Janes JK and Hamilton JA. 2017. Mixing it up : The role of hybridization in forest management and conservation under climate change. *Forests*, 8, 1–16.
- Johnson JD and Cline ML. 1991. Seedling quality of southern pines. In: Duryea ML and Dougherty PM (Eds). *Forest Regeneration Manual*. Dordrecht: Springer. pp. 143–144.
- Klein T, Cahanovitch R, Sprintsin M, Herr N, and Schiller G. 2019. A nationwide analysis of tree mortality under climate change: Forest loss and its causes in Israel 1948–2017. *Forest Ecology and Management*, 432, 840–849.
- Klein T, Cohen S, and Yakir D. 2011. Hydraulic adjustments underlying drought resistance of *Pinus halepensis*. *Tree Physiology*, 31, 637–648.
- Klein T, Shpringer I, Fikler B, Elbaz G, Cohen S, and Yakir D. 2013. Relationships between stomatal regulation, water-use, and water-use efficiency of two coexisting key Mediterranean tree species. *Forest Ecology and Management*, 302, 34–42.
- Korol L, Madmony A, Riov J, and Schiller G. 1995. *Pinus halepensis* x *Pinus brutia* subsp. *brutia* hybrids? Identification using morphological and biochemical traits. *Silvae Genetica*, 44, 186–190.
- Korol L, Shklar G, and Schiller G. 2001. Diversity among circum-Mediterranean populations of Aleppo pine and differentiation from *Brutia* pine in their isoenzymes: Additional results. *Silvae Genetica*, 51, 35–41.
- Lev-Yadun S and Ne'eman G. 2013. Bimodal colour pattern of individual *Pinus halepensis* Mill. seeds: A new type of crypsis. *Biological Journal of the Linnean Society*, 109, 271–278.
- Madmony A, Schiller G, Moshe Y, Tsabary G, Mendel Z, and Riov J. 2003. Controlled and open pollination between *Pinus brutia* (Ten.) and *Pinus halepensis* (Mill.) in Israel and hybrid performance. *Israel Journal of Plant Sciences*, 51, 213–222.
- Mauri A, Di Leo M, De Rigo D, and Caudullo G. 2016. *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz J, de Rigo D, Caudullo G, Houston Durrant T, and Mauri A (Eds). *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: European Commission. pp. 122–123.
- McKown AD and Guy RD. 2018. Hybrid vigour – poplars play it cool. *Tree Physiology*, 38, 785–788.
- Mendel Z. 1998. Biogeography of *Matsucoccus josephi* (Homoptera: Matsucoccidae) as related to host resistance in *Pinus brutia* and *Pinus halepensis*. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 323–330.
- Mirov NT. 1967. *The Genus Pinus*, 1<sup>st</sup> ed. New York: Ronald Press Company.
- Mitchell RG, Wingfield MJ, Hodge GR, Steenkamp ET, and Coutinho TA. 2013. The tolerance of *Pinus patula* X *Pinus tecunumanii*, and other pine hybrids, to *Fusarium circinatum* in greenhouse trials. *New Forests*, 44, 443–456.
- Moshelion M, Halperin O, Wallach R, Oren R, and Way DA. 2015. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water-stressed plants: Crop water-use efficiency, growth and yield. *Plant, Cell and Environment*, 38, 1785–1793.
- Nathan R, Safriel UN, Noy-Meir I, and Schiller G. 2000. Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees. *Ecology*, 81, 2156–2169.
- Neale D and Sederoff R. 1989. Paternal inheritance of chloroplast DNA and maternal inheritance of mitochondrial DNA on loblolly pine. *Theoretical and Applied Genetics*, 71, 212–216.



# שרידי החקלאות הקדומה בנגב – איתור, מיפוי ופיתוח כלים לשימור ולשיקום

שי שרפברג<sup>1</sup> | רונה וינטר-לבנה<sup>1\*</sup> | יערה רוזנר<sup>2</sup> | גיא שלף<sup>3</sup> | יואב אבני<sup>4</sup> | אורי רמון<sup>1</sup>

- 1 מכון דש"א, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב
- 2 המחלקה לארכיטקטורה, SCE – המכללה האקדמית ע"ש סמי שמעון
- 3 שלף מטלון אדריכלי נוף
- 4 המכון הגיאולוגי לישראל
- \* ronawinter@tauex.tau.ac.il

## תקציר

ממוקמות באזורים לא מוגנים. בהמשך לממצא זה חולקו המדרגות החקלאיות באזורים הלא מוגנים לשלוש דרגות המשקפות את חשיבותן הסביבתית, האקולוגית והתרבותית. במקביל, נבחנו מנגנוני השימור והשיקום הקיימים בארגונים השונים, לרבות רשות העתיקות, קק"ל ורט"ג, כדי לגבש פרוטוקול המשלב הנחיות והמלצות להעלאת המודעות, למזעור הפגיעה ולקידום פעולות שיקום, שיהווה מקור עבור הטמעת עקרונות שימור ומזעור הפגיעה בתהליכי תכנון ופיתוח בשטחים הפתוחים.

מחקר זה מתמקד באיתור, במיפוי ובפיתוח של כלים לשימור ולשיקום של מערכות חקלאיות עתיקות (טרסות, סכרים, מאגורות וכיו"ב) בנגב. המערכות האלה, שנבנו בעיקר בתקופה הרומית המאוחרת ובתקופה הביזנטית לצורכי איסוף וניהול של מי נגר, ממלאות תפקיד חשוב במניעת תופעות של מדבור ואובדן קרקע, וחיוניות לשמירת המגוון הביולוגי בנגב. כיום הן עוברות תהליכי שחיקה מואצים. חלק מהם נגרמים מתהליכים טבעיים, כגון סחיפה ושיטפונות, וחלק נגרמים מפעילות האדם, בעיקר כפועל יוצא של תהליכי פיתוח אזורי וצבאי.

מטרת המחקר היא לפתח פרוטוקול מקיף שיכלול הנחיות והמלצות לשימור ולשיקום מדרגות חקלאיות (טרסות חקלאיות) עתיקות, מתוך שאיפה להגביר את המודעות הציבורית לחשיבותן ולצמצם את הפגיעה בהן. במסגרת המחקר נערך מיפוי מקיף של כלל המערכות החקלאיות על פני שטח של כ-4,000 קמ"ר בנגב, ונמצא כי 58% מהן

### מילות מפתח

אובדן קרקע, הנגב, התקופה הביזנטית, חקלאות קדומה, טרסות, מדבור, ערים נבטיות

## רקע

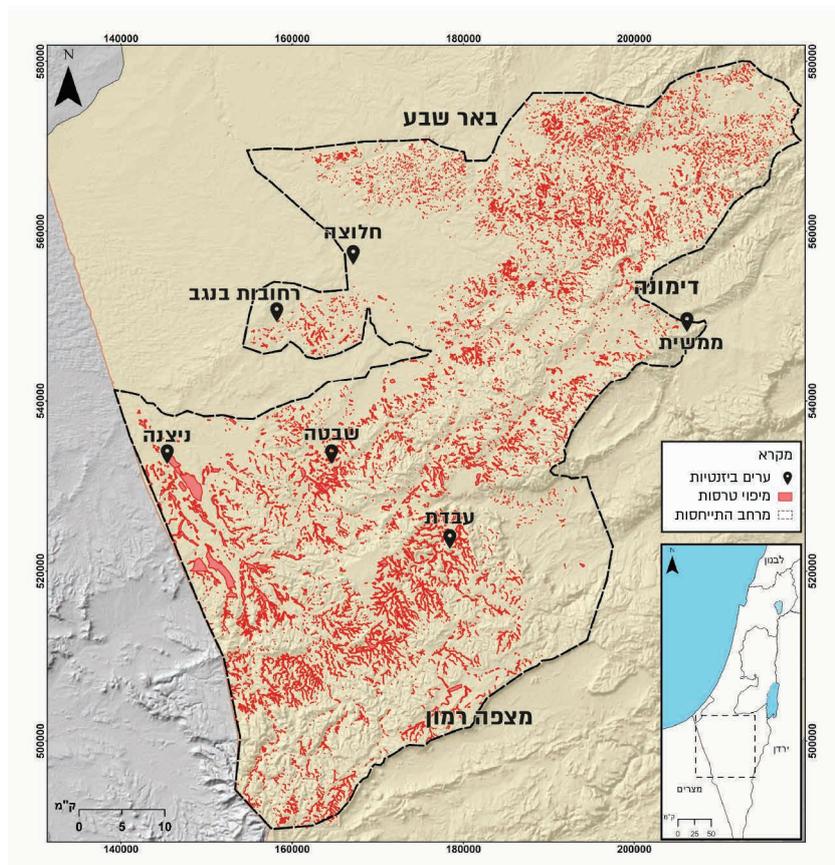
תהליכי שחיקה נרחבים. חלק מהם נגרם בגלל תהליכים טבעיים כגון שיטפונות וסחיפה, וחלק מואץ בעקבות פעולות מעשה ידי אדם – העברת תשתיות, לחץ וניצול יתר של קרקעות, פיתוח חקלאי, פעילות צבאית, ונדליזם ועוד (Avni, 2005). אף על פי שמדובר בתשתית קדומה וחשובה, מסתמן שאין כרגע כוונה להכריז באופן גורף על כל שטחי הטרסות החקלאיות בנגב כ"אתרי עתיקות", בעיקר בגלל כריסתן הרחבה בהרי הנגב. נדרשות, אם כן, דרכים אחרות לקידום הגנתן ולהבטחת שימורן.

אלפי שרידים של פעילות חקלאית קדומה פזורים במרחבי הנגב בין בקעת באר שבע בצפון להר הנגב הגבוה בדרום. השרידים האלה כוללים חלקות עיבוד, טרסות חקלאיות, סכרי אבן, תעלות לתיעול מי נגר, תלוליות חצץ, בורות מים ומאגורות (בורות מלאכותיים החצובים במדרון לשם אגירת מי גשמים). מקובל לייחס את רובם לפריחת היישובים בנגב בתקופה הרומית המאוחרת ובתקופה הביזנטית (Haiman, 1995, 2012; Erickson-Gini, 2012; Avni et al., 2013; Tepper et al., 2020).

## איתור ומיפוי של מערכות חקלאיות קדומות בנגב

כדי להגן על שרידי החקלאות הקדומה נדרשת ראשית הבנה מקיפה של היקף השטחים שהשרידים מצויים בהם ומיקומם המדויק. כחלק ממטרות המחקר הושקע מאמץ רב באיתור ובמיפוי של המערכות החקלאיות הקדומות בנגב. מרחב ההתייחסות של המחקר, שהמערכות החקלאיות הקדומות מופו בו, כולל את השטח המצוי בין מצפה רמון לעיר באר שבע בציר צפון-דרום, ובין גבול ישראל-מצרים במערב לקו המכתש הגדול, ירוחם וערד במזרח. מרחב זה, ששטחו מוערך בכ-4,000 קמ"ר, כולל חלקים נרחבים מאזור הר הנגב (איור 1). בתקופות הרומית והביזנטית

המערכות החקלאיות הקדומות מהוות מרכיב חשוב במערך הנופי והאקולוגי של הנגב. לצד חשיבותן ההיסטורית והתרבותית כנוף תרבות מתמשך, הן בעלות תפקיד משמעותי בתהליכים אקולוגיים חיוניים, בייחוד בהקשר של בלימת תהליכי מדבור (Avni et al., 2006); בעלות פוטנציאל חקלאי (Avni 2022 Ore and Bruins, 2012; Avriel-) מניעת תהליכי סחיפת קרקע והרס קרקעות (Avni et al., 2019; Ashkenazi et al., 2020; Ashkenazi, 2024) ושמירת המגוון הביולוגי והמאזן האקולוגי בשטחים הפתוחים (Avni, 2005; Arevalo, 2016; Deng, 2021). בעשורים האחרונים שרידי החקלאות הקדומה בנגב עוברים



איור 1

מפת מרחב ההתייחסות של המחקר ומיקום המערכות החקלאיות שמופו

לערך) מצויות בסיכון ממשי לפגיעה מפעולות פיתוח. נתון זה מחייב לערוך הבחנה ברורה בין אזורים רגישים מבחינה אקולוגית, שיש חשיבות גבוהה לשמירה על הטרסות בהם, לבין אזורים רגישים פחות.

### מתודולוגיה לקביעת סדר עדיפויות לשימור שטחים

האתגר המרכזי בהגנה על תשתיות של טרסות עתיקות הוא היקפן העצום והימצאותן באזורים שאינם מוגנים סטטוטורית. כדי להתמודד עם האתגר הזה פותחה מתודולוגיה לקביעת סדר העדיפויות לשימור ולשיקום של טרסות ואזורים בעלי מכלולים מורכבים של טרסות. קביעת סדר העדיפויות התבססה על מכלול רחב של היבטים, בהם היבטים ארכאולוגיים, אקולוגיים, גאומורפולוגיים, תכנוניים, תיירותיים ואף היבטים של שמירת טבע (טבלה 1).

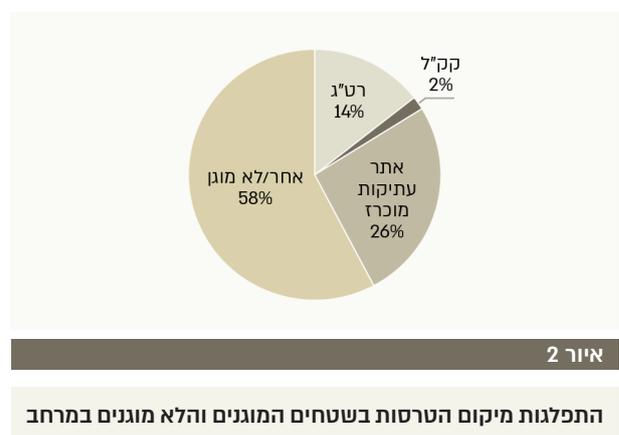
מכיוון שקיימת הבנה ששטחים הנתונים להגנה סטטוטורית, כגון שמורות טבע וגנים לאומיים, הם המוגנים ביותר, ניתן משקל גבוה יותר במדרג לאזורים הנמצאים בסמיכות להם. נוסף על כך, נציין שבקביעת דרגת העדיפות ביחידות האקולוגיות התבססנו על התובנות שעלו במחקרי רט"ג שעסקו במידת ייצוגן של יחידות אקולוגיות בשטחים המוגנים בישראל (רותם ואח', 2016; רותם וגוק, 2021). מהמחקרים עלה כי היחידה האקולוגית 'לס בנגב ובערבה' מצויה בתת-ייצוג בשטחים מוגנים, ומשום שהיא חשובה מאוד מבחינה אקולוגית (פרלברג ורון, 2014; רותם ואח', 2017), הוחלט לתת לה עדיפות גבוהה יותר במדרג. קריטריונים אקולוגיים נוספים שהעלו את דרגת העדיפות כללו הימצאות בתי גידול ייחודיים ותצפיות של מינים בסכנת הכחדה, כמו צבי הנגב (*Gazella dorcas*) ופראים (*Equus hemionus*), שניזונים מהצומח החד-שנתי שגדל בטרסות, או ריכוזי פריחה ועצי אלה אטלנטית (*Pistacia atlantica*). לעומת זאת, שטחים בסמיכות ליישובים קיימים קיבלו לרוב עדיפות נמוכה או בינונית, בין היתר, מתוך הבנה שבנגב קיימים לחצי פיתוח נרחבים המאיימים על הטרסות, ובשל פגיעות רבות שנגרמות לטרסות מבנייה (חוקית ושאינה חוקית), בייחוד בפזורה הבדואית הלא מוסדרת. הנתונים האלה נאספו ממאגר המידע של רט"ג, ממפות סימון שבילים ומהיישומון 'עמוד ענן'. שקלול הקריטריונים הסתכם בזיהוי תשעה אזורים בעלי עדיפות לשימור, שחולקו לשלוש דרגות: גבוהה, בינונית ונמוכה (איור 3). מתוך התשעה, חמישה אזורים זהו כבעלי עדיפות גבוהה לשימור, שני אזורים כבעלי עדיפות בינונית לשימור, ועוד שני אזורים בעלי עדיפות נמוכה. תשעת האזורים הללו מתפרסים על שטח של 690,120 דונם, ומופי בהם 36,000 דונם של טרסות. מבין תשעת האזורים שזוהו בדרגת עדיפות כלשהי,

התקיימה באזור פעילות חקלאית ענפה, שהתרכזה סביב שישה יישובים מרכזיים: שבטה, חלוצה, רחובות בנגב, עבדת, ממשית וניצנה (קידר, 1967; אבן-ארי ואח', 1980; נגב, 1988; רובין, 1990; בר-עוז ואח', 2016; שון ואח', 2022; שיאון ואח' 2022; Sion and Rubin, 2020).

תהליך האיתור והמיפוי הגאוגרפי נערך על בסיס פענוח אורתופוטו עדכני של קק"ל משנת 2022 ברזולוציה של 20 ס"מ לפיקסל, בשילוב איסוף מידע קיים בשכבות של מפות סימון שבילים משנת 2014 ומפות ישנות בקנ"מ של 1:50,000 שהודפסו בשנת 1960 ועוגנו בתוכנת ממ"ג (Levy et al., 2015). נוסף על כך, נעשה שימוש במידע המצוי בשכבת ההכרזות של רשות העתיקות ובמידע המצוי ביישומון 'עמוד ענן' לצורך לימוד השטח והבנה נקודתית של מערכות חקלאיות קדומות המצויות במרחב. כל טרסה שזוהתה על בסיס מקורות המידע השונים, מופתה באמצעות מערכות מידע גאוגרפיות (ממ"ג - GIS), המאפשרות הערכת שטח וביצוע חישובים וחיטוכים מרחביים באופן מדויק. בהקשר זה ראוי לציין שהמידע שנאסף במסגרת תהליך המיפוי, משקף אך ורק את השרידים המצויים מעל פני השטח ושניתן לזהותם בבירור בתצלומי אוויר, במפות ובשכבות הרקע.

### מיקום הטרסות החקלאיות בנגב

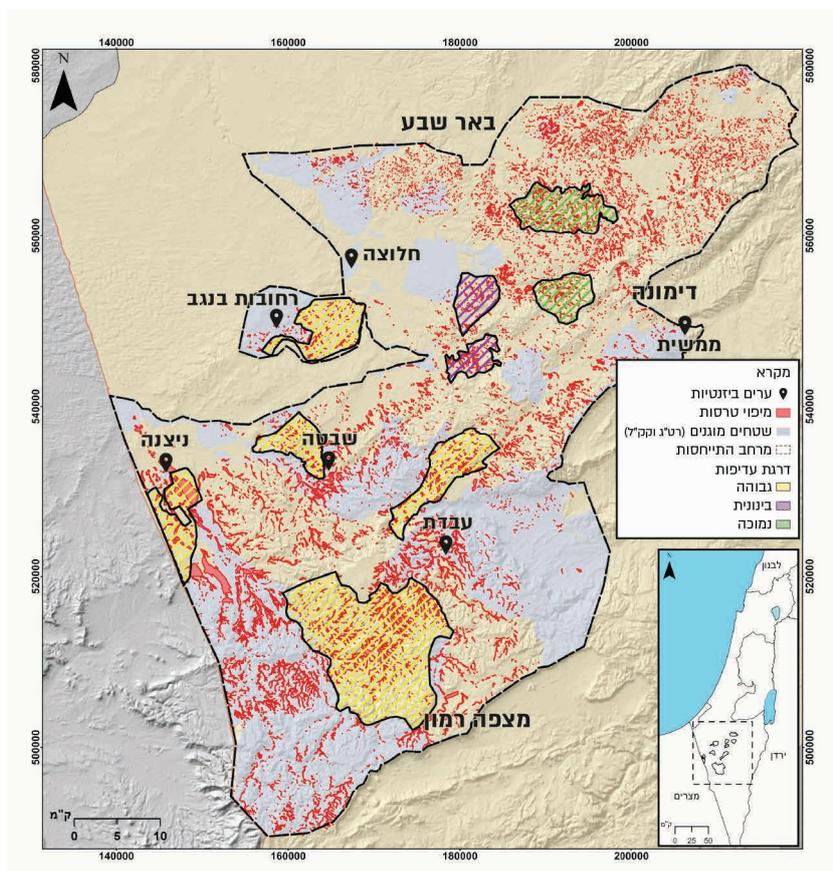
במרחב ההתייחסות של המחקר מופי כ-120,700 דונם של מערכות חקלאיות. בחינת התפלגות שטחי הטרסות ביחס לשטחים המוגנים והלא מוגנים במרחב, מעידה ש-14% מהם מצויים בשמורות טבע וגנים לאומיים בניהול רט"ג; 2% מצויים ביערות ובשטחים בניהול קק"ל; 26% מצויים בשטחי אתרי עתיקות מוכרזים שאינם כלולים בתוך שמורות טבע, גנים לאומיים או ביערות קק"ל; 58% מצויים בשטחים לא מוגנים (איור 2). כלומר, 84% מהטרסות (101,400 דונם



קטגוריה	דרגת עדיפות
קרבה לערים ביזנטיות בנגב	<b>עדיפות גבוהה:</b> שטחים המצויים ברדיוס 5 ק"מ מהאתר (טווח הפעילות החקלאית המקובל בתקופות קדומות)
קרבה לאתרי נוף ומורשת	<b>עדיפות בינונית:</b> אתרי עתיקות, נוף, אתרים היסטוריים ואתרי טבע ייחודיים (לדוגמה, חמוקי ניצנה)
קרבה ליישובים	<b>עדיפות נמוכה:</b> קרבה לערים וליישובים
קרבה להתיישבות בדואית לא מוסדרת	<b>עדיפות בינונית:</b> המלצה על הטמעה בתכנון נוף והעלאת מודעות בקרב הקהילה לפוטנציאל השימוש בטרסות ולאפשרות לשיקום
קרבה ליערות קק"ל	<b>עדיפות גבוהה:</b> קרבה לשטחים בניהול קק"ל (יערות, חניונים, שטחים פתוחים וכו')
קרבה לשמורות טבע וגנים לאומיים	<b>עדיפות גבוהה:</b> קרבה לשמורת טבע או גן לאומי מאושרים או מוכרזים <b>עדיפות גבוהה:</b> קרבה לשמורת טבע או גן לאומי מופקדים <b>עדיפות בינונית:</b> קרבה לשמורת טבע או גן לאומי מוצעים
הימצאות ביחידות אקולוגיות	<b>עדיפות גבוהה:</b> הימצאות בשטחי לס <b>עדיפות בינונית:</b> הימצאות בשטחי בתות ושיחיות מדבריות <b>עדיפות נמוכה:</b> הימצאות בשטחי מדבר צחיח
הימצאות בבתי גידול ייחודיים	<b>עדיפות גבוהה:</b> הימצאות בשטחים שנצפו בהם צבי הנגב או פרא <b>עדיפות בינונית:</b> הימצאות בשטחים שנצפו בהם אלה אטלנטית או ריכוזי פריחה של גאופיטים

טבלה 1

קטגוריות לקביעת סדר העדיפויות שהשטח חולק לפיהן למרחבי שימור



איור 3

מכה המציגה את תשעת האזורים שחולקו לשלוש דרגות עדיפות לשימור טרסות

התייחסות להימצאותן של טרסות חקלאיות בשכבת ההכרזות של רשות העתיקות. היעדר זה נובע משתי סיבות עיקריות – משפטית ופרוצדורלית. מבחינה משפטית, חוק העתיקות חל על שרידים שמתוארכים לתקופה שלפני שנת 1700 לספירה, אך מועד הקמתן של הטרסות בנגב אינו ודאי, ויש בו כנראה טרסות קדומות ומאוחרות כאחת. מבחינה פרוצדורלית, מדובר בתופעה רחבת היקף, שמתפרסת על חלקים נרחבים בנגב, ומציבה קשיים ניהוליים רבים. הגנה על שטחים כה נרחבים אינה פשוטה ואולי אף אינה אפשרית מבחינה טכנית. מסיבה זו אין לרשות העתיקות כוונה או רצון להכריז על כל שטחי הטרסות כאתרי עתיקות מוכרזים.

לקק"ל ניסיון רב יחסית בפעולות שימור ושיקום של טרסות חקלאיות קדומות בנגב. בשלושת העשורים האחרונים הוציאה קק"ל אל הפועל פרויקטים רבים שבמסגרתם שוקמו טרסות עתיקות ונבנו טרסות חדשות (איור 4א, 4ב). שיקום טרסות נחשב לפרויקט יקר, בעלות של עשרות עד מאות אלפי שקלים, הוא עשוי להימשך מספר שנים, ודורש תחזוקה שוטפת. בדרך כלל, תהליך הבנייה בשטח משלב שימוש בחומר גלם מקומי (אבנים מהשטח), עבודת כפיים ושימוש נרחב בציוד מכני הנדסי (כמו שופל ודחפור) לשינוע אבנים ועבודות עפר נרחבות. הודות לניסיון שצברה קק"ל ברורה החשיבות הקריטית שיש להתייעצות עם מומחים, לרבות מומחי שימור, הידרולוגים, ארכאולוגים ואדריכלי נוף. קק"ל פועלת לאורך השנים גם בניסיון לתחזק את הטרסות המצויות בשטחיה.

### טרסות בשטחים פתוחים שאינם מוגנים

58% מהטרסות (70,000 דונם לערך) מצויות בשטחים שאינם מוגנים. בנגב בכלל, ובאזורים שהתקיים בהם מערך חקלאי קדום מפותח בפרט, ישנם מספר מודלים התיישבותיים, ובעיקר יישובים כפריים-פרבריים, חוות בודדים ויישובים בדואיים (מוסדרים ושייכים מוסדרים).

מערך ההתיישבות והפיתוח המודרני בנגב אינו מתכתב בהכרח עם המערך המסורתי, ועם זאת, במקרים רבים אנו עדים לשימוש במערך החקלאי הקדום כתשתית פיזית או כמקור השראה ולימוד. יש לשאוף לשפר את הממשקים בין המערך המודרני למערך החקלאי הקדום, באופן שיאפשר שימור ושיקום של המערך הקדום, שהוא חלק בלתי נפרד מנוף התרבות של הנגב.

בולטת מאוד חשיבותם האקולוגית והמרחבית של חמשת האזורים שזוהו בעדיפות גבוהה לשימור. חמשת האזורים הללו מצויים בתווך שבין שטחים מוגנים, במקומות שהוגדרו גם מספר מסדרונות אקולוגיים, ומכאן חשיבותם הגדולה בשמירת הקישוריות המרחבית בין השטחים הפתוחים לבין אלה שמוגנים ברמה הסטטוטורית. ניתוח זה מספק בסיס תכנוני חשוב להפניית משאבים ומאמצי שימור לאזורים בעלי הפוטנציאל והחשיבות הגבוהים ביותר.

### מנגנוני שימור ושיקום בטרסות חקלאיות קדומות

כ-16% (19,000 דונם) מהטרסות שמופו במחקר מצויים בשטחים מוגנים, מהם 88% (16,900 דונם) בשטחי רט"ג, ו-12% (2,400 דונם) בשטחי קק"ל.

לפרויקטים הנדסיים של תשתיות ופעולות פיתוח בסביבה יש פוטנציאל פגיעה גבוה במערכות אקולוגיות בשטחים פתוחים. אי לכך, רט"ג מעורבת באופן עמוק ונרחב בליווי תהליכי תכנון וביצוע בפרויקטים האלה, החל משלבי התכנון המוקדמים ביותר ועד הפיקוח בשטח בסיום העבודות. תהליך בדיקת תוכניות התשתית ברט"ג כולל שלבים של בחינת חלופות מוקדמת (תוך שימוש בידע הרב שנצבר והסתייעות במערכת הממ"ג), בדיקה מפורטת של התוכנית (הצלבת נתוני ממ"ג מגוונים, סיורים בשטח, התייעצות עם מומחים פנימיים), הנפקת היתר לעבודה (הכולל תנאים והנחיות למזעור פגיעה ולשיקום) וליווי ופיקוח בשטח בזמן הביצוע ולאחריו. בהקשר של מערכות חקלאיות קדומות, רט"ג מכוונת ומנחה הצמדת תשתיות חדשות לתשתיות שקיימות כבר בשטח, ובכך מסייעת להפחית את הפגיעה במערך השטחים הפתוחים. גישה זו מבטיחה פגיעה מזערית בשטחים הפתוחים ובערכי הטבע, הנוף והמורשת המצויים בהם, בעת ביצוע עבודות תשתית באזור. כאשר לא ניתן להימנע מפגיעה בערכי נוף ומורשת, כדוגמת טרסות חקלאיות, ההנחיות ברט"ג הן למעבר בחפירה תת-קרקעית באמצעות קידוח אופקי, ולא באמצעות חפירה דרך הטרסה ולאחר מכן שיקומה. גישה זו מיושמת כיום ברט"ג במקרים שיש חשש לפגיעה בערכי נוף ומורשת שאינם מוגדרים כאתרי עתיקות מוכרזים, כדוגמת סוללת הרכבת התורנית. לרט"ג מערך מורכב ומקצועי מאוד המשמש כתובת לגופי תכנון ופיתוח. למרות המעורבות הנרחבת של רט"ג ישנו פער מרכזי בכל הנוגע להגנה על המערכות החקלאיות הקדומות, שנובע מהיעדר שכבת מיפוי מקיפה ומפורטת.

לרשות העתיקות אין כיום מנגנון מסודר שנועד להגן על הטרסות הקדומות מפני פגיעה, ובמקרים רבים אין



איור 4

**כרויקטים של שיקום ושימור טרסות בנגב**

א. שיקום חווה חקלאית קדומה בגן הלאומי ניצנה, אוגוסט 2001. דוגמה לכרויקט קהילתי של שיקום נופי תרבות ומורשת שקק"ל ביצעה בתחילת המאה ה-21. את הטרסות בחווה שיקמו מתנדבים ובני נוער מהכפר ניצנה ופועלים; ב. טרסות משוקמות בצומת חלוקים, אפריל 2024. דוגמה לכרויקט שיקום נוף שקק"ל ביצעה בשנות ה-90; ג. שיקום חוות מיכאל בגן הלאומי שבטה, כחלק מכרויקט מחקר של האוניברסיטה העברית בירושלים משנות ה-60 וה-70, אפריל 2024; ד. בוסתן מי הנגר של משפחת ארזוני במושב עזוז, ינואר 2024. דוגמה לטרסות קדומות ששוקמו ומשמשות כיום לחקלאות מודרנית. צילום: יצחק משה (א), שי שרפברג (ב, ג, ד).

**שימוש במערכות חקלאיות קדומות לחקלאות ולתיירות**

בשטחים הפתוחים שאינם מוגנים נעשה שימוש בתשתיות ובשרידי חקלאות קדומה, בעיקר כחלק מכרויקטים של תיירות מדברית וחקלאות בוטיק, כדוגמת כרויקט "דרך היין" משנת 2005 או כרויקט "שפת מדבר" משנת 2018. במסגרת התוכנית האלה הוקמו ברחבי הנגב עשרות חוות בודדים שנשענו מבחינה כלכלית על תיירות, בקתות אירוח ומכירת מוצרים מקומיים – בעיקר יין ושמן זית מכרמים שגודלו באדמות הלס המדבריות. חוות רבות, בהן חוות כרמי נגב, חוות משכית, חוות ארזוני, כרם ננה, כרם צור שיזף וחוות אדלר, יושבות על שטחים פוריים ששימשו לחקלאות עתיקה, והן מנצלות את התשתית הקדומה של הטרסות לניהול מי הנגר בחודשי החורף (איור 4ד). לשימוש

**שיקום טרסות במסגרת כרויקטים מחקריים**

לכרויקטים מחקריים-תיעודיים או ניסיוניים יש חשיבות רבה ליצירת מקומות מזמינים לקהל בפני עצמם, וגם כאזורי מחקר המאפשרים ניסיונות שיוטמעו בהמשך בתכנון ובפיתוח נופי ביישובים ובשמורות הטבע (איור 4ג). הכרויקטים שהתבצעו כחלק ממחקר האקדמי ושבמסגרתם שוקמו טרסות חקלאיות עתיקות, התרכזו בעיקר סביב שבטה ועבדת, באזורים שנחשפו בהם שרידים של חוות קדומות לניהול מי נגר, כדוגמת חוות אבן ארי ובוסתן מיכאל (אבן-ארי ואח', 1980). נוסף על כך, ראוי להזכיר את מחקריו של אהרון יאיר שעסקו בתהליכי היווצרות נגר עילי בסובב המדברי, ושבמסגרתם שוקמו מספר טרסות עתיקות ונבנו טרסות מודרניות ברכס חלוקים (Yair, 1983; Yair et al., 1989).

לתחזק את הטרסות המצויות בשטחם, ולעשות שימוש מיטבי במערך הידרולוגי מבוסס טרסות.

בשטחים פתוחים מחוץ ליישובים המטרה העיקרית היא שימור טרסות קיימות, עם פוטנציאל לפרויקטים יזומים על ידי המדינה או פיתוח נקודתי, כמו פינות שהייה. בשטחי ליבה אקולוגיים (שמורות טבע) שיקום טרסות אפשרי במסגרת פרויקטים של גופים מוסדיים כמו קק"ל ורט"ג, עם דגש על שימור ערכי טבע, נוף ומורשת. פרויקטים מחקריים וניסויים בטרסות הם בעלי חשיבות רבה ללימוד חקלאות מדברית, יצירת מוקדי עניין ציבוריים ופיתוח מודלים יישומיים לתכנון ולממשק נופי. כל פרויקט שכולל בתוכו מרכיב של בנייה או שיקום טרסות צריך לכלול גם ניתוח הידרולוגי של אגן הניקוז, והיוועצות עם גורמי מקצוע רלוונטיים – הידרולוג, ארכאולוג, משמר או אדריכל נוף. **יש לשאוף ככל האפשר שהטרסות שישוקמו ייבנו בשיטות מסורתיות המאפשרות חלחול מים בין האבנים.** פעולה זו תעודד ערכיות אקולוגית גבוהה ושמירת המאזן הביולוגי בנגב.

## סיכום

למערכות החקלאיות הקדומות יש חשיבות אקולוגית ותרבותית רבה. הן מהוות תשתית חיונית למניעת סחיפה ואובדן קרקע, להאטת תהליכי מדבור ולשמירת המגוון הביולוגי בנגב. במרחב שנבדק במחקר זה אותרו ומופנו כ-120,700 דונם של מערכות חקלאיות קדומות, ונמצא כי 58% מתוכן ממוקמות בשטחים שאינם מוגנים, ועל כן נתונות למגוון איומים. לצד זאת, 16% מהמערכות החקלאיות נמצאו בשטחים מוגנים בניהול קק"ל או רט"ג, ועוד 26% ממוקמות בשטחי עתיקות מוכרזים שאינם מוגנים.

יש לדאוג למיפוי הטרסות כשכבת מידע ייעודית ומחייבת במערכות הממ"ג של כלל גופי התכנון והביצוע הרלוונטיים. המיפוי יאפשר לגופים בעלי עניין ולאנשי תכנון ופיתוח סביבתי קבלת החלטות מושכלת לעניין התוויית הפיתוח המוצע בשטחים מוגנים ולא מוגנים כאחד. היעדר מיפוי של הטרסות במערכות המידע של גופי התכנון והביצוע הוא פער משמעותי הפוגע ביכולת להגן עליהן. הטמעת השכבה והפצתה בקרב כל הגופים התכנוניים והביצועיים הרלוונטיים – משרדי ממשלה, מנהל התכנון, רשויות ניקוז, רט"ג, קק"ל, רשות העתיקות וגופים אחרים – היא שלב ראשון והכרחי להעלאת המודעות ולמזעור הפגיעות. שילוב מוקדם של מערכות חקלאיות קדומות בתוכניות פיתוח אזוריות, תוך התייחסות אליהן לא רק כאל שרידים ארכאולוגיים אלא גם כאל חלק מנוף תרבות מתמשך וכמרכיב חשוב במערך ההידרולוגי המקומי, יהווה מפתח

המודרני בתשתית הקדומה של הטרסות בקרב חוות הבודדים בהר הנגב יש שלוש תרומות עיקריות. ראשית, השימוש בטרסות הקדומות מוביל לחיסכון משמעותי בהשקיה בחודשי החורף ולהפחתה בהוצאות הגידול של החקלאים. שנית, השימוש המודרני בטרסות מונע אובדן קרקע בתהליכי בליה וסחיפה (Avni, 2005). שלישית, מכיוון שמדובר בתשתית מורכבת, שנבנתה בהתאמה לאגן הניקוז בערוצים הראשיים והמשניים כאחד, יש לה תפקיד מרכזי בוויסות זרימת מי הנגר ובמניעת היווצרות שיטפונות בזק (אבן-ארי ואח', 1980). הפרויקטים התיירותיים האלה הם דוגמאות רלוונטיות לשיקום ולבנייה של טרסות וליצירת מערך הידרולוגי-תפקודי מודרני שעושה שימוש במערך העתיק.

## מתווים לשימור ולשיקום של טרסות

ישנה חשיבות גדולה לאופן שילובן של מערכות חקלאיות קדומות במערך ההתיישבות והפיתוח המודרני בנגב, ולראייתן כתשתית פיזית, כמקור השראה תכנוני וכחלק מנוף תרבותי מתמשך. בהקשר זה קיימות אפשרויות ממשק שונות בהתאם לסוגי היישובים בנגב ולאופיים (קיבוץ, יישוב, עיר, חוות בודדים, התיישבות בדואית מוסדרת או בלתי מוסדרת) ובהתחשב במצב התכנוני של היישוב (קיים / בהקמה / חדש, מוסדר / לא מוסדר וכו').

כאשר מדובר על טרסות בתחום יישוב קיים או סמוך לו, ההמלצה היא לשלבן בתוך המערך היישובי או החקלאי הקיים כחלק מנוף תרבות מתמשך. לעומת זאת, כאשר מדובר ביישובים חדשים המצויים בשלבי תכנון או בהקמה, יש לעודד שילוב מוקדם של הטרסות בתוכניות היישוב כחלק מהתשתית ההידרולוגית והנופית.

בכל הנוגע לחברה הבדואית בנגב הדברים מורכבים. מצד אחד ההתיישבות הבדואית הלא מוסדרת מהווה אתגר תכנוני עצום במרחב, ומצד שני בחברה הבדואית מצוי פוטנציאל גדול לשימור טרסות ולהקמת תשתית הידרולוגית המתבססת על טרסות במדרונות ובערוצי נחלים, כבסיס לפיתוח עתידי. הכפרים הבדואיים הם נוף תרבות ייחודי, המשלב בין אורח חיים מסורתי (מבוסס חקלאות מרעה) למודרני. כפרים רבים משתמשים כיום בטרסות העתיקות לחקלאות דגנים ולגידול מספוא, ובעיקר לגידול עצי צל, זיתים ובוסתנים. נוף תרבותי זה נמצא באיום בגלל פיתוח אינטנסיבי והנחת תשתיות מודרניות הפוגעים בתוואי הטבעי ובתפקוד המסורתי. ההמלצות בהקשר זה כוללות שילוב טרסות במרכיבי הנוף היישובי (פינות צל, בוסתנים, פנאי וחקלאות בעל), באופן שיעודד את הקהילה המקומית

של הטרתות המדורגות ביובלי הנחלים, כחלק בלתי נפרד מהמערך החקלאי והנופי המסורתי עבור ולמען הקהילה הבדואית.

בשטחים המוגנים רט"ג וקק"ל הן הגופים המרכזיים בעלי היכולת והסמכות לקידום שימור ושיקום של טרתות. קק"ל היא ארגון מוביל בתחום שיקומן של הטרתות, שכן היא הוציאה אל הפועל פרויקטים רבים של שיקום טרתות עתיקות ובניית טרתות חדשות בשלושת העשורים האחרונים. בקק"ל קיימים הידע, הניסיון והמשאבים הדרושים לביצוע פרויקטים המשלבים שיקום טרתות בהיקפים גדולים, ולכן אף על פי שבהשוואה לרט"ג היא אינה מחזיקה בשטחים נרחבים בנגב, היא מסתמנת כגוף העיקרי שמשוגל לקחת על עצמו את המשימות האלה.

לקידום הגנתן ושילובן בסביבה הבנויה והפתוחה. יש לקדם הטמעה של הפרוטוקולים וההנחיות שגובשו במחקר זה, ויש להנחות ואף לחייב מתכננים, ובפרט בתכנון יישובים חדשים או בהרחבת קיימים, להתייחס אל המערכות החקלאיות הקדומות כרכיב תכנוני חשוב כבר בשלבים המוקדמים ביותר. המערכות הללו יכולות לשמש מרכיב חשוב במערך ההידרולוגי המקומי, במערך הנופי, וכשטח פנאי/חקלאות בעצמות נמוכה. יש לקדם ולהנחות עריכת תסקיר ראשוני והתייעצות עם מומחים לשימור, להידרולוגיה ולאדריכלות נוף בכל תוכנית או פרויקט פיתוח המשיקים או עוברים בשטח שיש בו מערכות חקלאיות קדומות. חקרי המקרה שנכללו בפרויקט מחקר זה הצביעו על חשיבותה של התייחסות רגישה לפיתוח כפרים ולהסדרת התיישבות עבור הקהילה הבדואית. עולה כי יש לגבש ולקדם מתווים הכוללים התייחסות ספציפית ורגישה לשימור ולשיקום

## מקורות

- אבן-ארי מ, שנת 1 ותדמור נ. 1980. **הנגב: מלחמת קיום במדבר**. ירושלים: מוסד ביאליק.
- בר-עוז ג, וויסברוד ל ואריקסון-גיני ט. 2016. חלוצה. דוח ראשוני. **חדשות ארכיאולוגיות**, 128.
- נגב א. 1988. ערי הנבטים. **אריאל כתב עת לידיעת ארץ-ישראל**, כרך 62–63.
- פרלברג א ורון מ. 2014. **מישורי הלס בצפון הנגב: מערכת אקולוגית בסכנת הנכחה**. חוברת מידע והמלצות לקובעי מדיניות, מתכננים, מנהלי שטח ואנשי חינוך. תל אביב: החברה להגנת הטבע.
- קידר י. 1967. **החקלאות הקדומה בהרי הנגב**. ירושלים: מוסד ביאליק.
- רובין ר. 1990. **הנגב כארץ נושבת: עיור והתיישבות במדבר בתקופה הביזנטית**. ירושלים: ידי יצחק בן-צבי והחברה לחקירת ארץ ישראל ועתיקותיה.
- רותם ג, אורן א, רומם א, רון מ, גלילי א, שחם ב ואח'. 2017. **צפון הנגב – בדגש שטחי הלס**. סקרה, ניתוח והערכה של טבע, נוף ומורשת האדם. תל אביב: מכון דש"א – דמותה של ארץ.
- רותם ד, וייל ג, וולצ'אק מ ואמיר ש. 2016. מידת ייצוגן של יחידות אקולוגיות טבעיות בשטחים המוגנים בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 7(1), 16–23.
- רותם ד וגוק ע. 2021. **מידת ייצוגן של יחידות אקולוגיות גדולות, טבעיות בשטחים מוגנים בישראל, מסמך מקוצר**. חטיבת המדע ויחידת GIS רשות הטבע והגנים.
- שון כ"א, היינזלמן מ, וזניקוד ד ואריקסון-גיני ט. 2022. חלוצה, סקר סביב העיר. דוח ראשוני. **חדשות ארכיאולוגיות**, 134.
- שיאון ע, אשכנזי א ואריקסון-גיני ט. 2022. עבדת הביזנטית והמערכת החקלאית סביבה. בתוך: גולני א, וורגה ד, צ'חנובץ י וברקנפלד מ (עורכים). **חפירות ומחקרים ארכאולוגיים בדרום הארץ**. קובץ מחקרים, כרך ה'. עמ' 27–57.
- Arévalo JR, Tejedor M, Jiménez C, Reyes-Betancort JA, and Díaz FJ. 2016. Plant species composition and richness in abandoned agricultural terraces vs. natural soils on Lanzarote (Canary Islands). *Journal of Arid Environments*, 124, 165–171.
- Ashkenazi E, Avni Y, and Chen Y. 2020. The vitality of fruit trees in ancient Bedouin orchards in the Arid Negev Highlands (Israel): Implications of climatic change and environmental stability. *Quaternary International*, 545, 73–86.
- Ashkenazi E. 2024. Cereal cultivation and storage by the Janabib Bedouin in the Negev Highlands, southern Israel (1917–1948). *Journal of Arid Environments*, 224, 105217.
- Avni G, Porat N, and Avni Y. 2013. Byzantine–Early Islamic agricultural systems in the Negev Highlands: Stages of development as interpreted through OSL dating. *Journal of Field Archaeology*, 38, 332–346.



# יותר מינים, פחות מתמחים: השפעת יערות פארק נטועים על חברת העופות

דניאל עידן<sup>1,2\*</sup> | ניב דה-מלאך<sup>1</sup> | הילה סגרה<sup>2</sup>

- 1 הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים  
2 המחלקה למשאבי טבע, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני  
\* idandaniel14@gmail.com

## תקציר

נצפו בשכיחות גבוהה יותר ביער לאורך כל השנה ביחס לבתות. לעומת זאת, עופות המקננים על הקרקע ובצמחייה נמוכה ומינים המזוהים עם בתי גידול של צומח טבעי נמוך נמצאו בעיקר בבתות. המחקר מדגיש את תרומתם של יערות פארק להגברת העושר והשפע של העופות, אך גם את חשיבות שימור הבתות כבית גידול ייחודי. ממצאיו עשויים לתרום לניהול מאוזן של יערות ושטחים פתוחים, באופן שיתמוך בעופות מקומיים ונדודים, ויסייע בבלימת הירידה באוכלוסיותיהם.

אוכלוסיות העופות בישראל ובעולם נמצאות בירידה מתמשכת, בעיקר בקרב מינים התלויים בבתי גידול בעלי צומח טבעי נמוך. מגמה זו מעוררת דאגה ומחדדת את הדיון בנושא שימור בתי גידול של צמחייה נמוכה (בתות) לצד מציאה וחיזוק של בתי גידול נוספים התומכים בעושר עופות. שאלה מרכזית היא כיצד נטיעות בתחומי בתות משפיעות על העושר וההרכב של חברת העופות, והאם הן תורמות לשימור המגוון הביולוגי. בעוד שמחקרים רבים הראו כי ייעור עלול לפגוע במגוון עופות, השפעתם של יערות פארק, המתאפיינים בעצים רחבי-עלים נטועים בדלילות, לא נבדקה לעומק. במחקר זה נבחנה חברת העופות ביערות פארק ובבתות סמוכות במזרח הגליל התחתון ובצפון עמק חרוד באמצעות ספירת נקודה באביב ובסתיו, ונבדקה השפעת היער על עופות מקננים ועופות נודדים. מהממצאים עולה שבאביב עושר המינים ביערות פארק היה גבוה בכ-50% בהשוואה לבתות, וכי עופות המקננים בעצים ומינים נודדים

### מילות מפתח

בתה, ייעור אקולוגי, מגוון ביולוגי, ציפורים, עושר מינים

## מבוא

השנים 2014 ל-2020 חלה ירידה חריפה של 44% בשפע שלהם, לצד שינוי בהרכב החברה (גרוסברד ורנן, 2024).

לעומת בתות, שחשיבותן רבה בעיקר למינים מתמחים, יערות הם בית גידול חשוב למגוון רחב יותר של עופות (Crowe et al., 2023). השפעת הנטיעות תלויה במאפייני השטח שקדם להן, ובסוג היער החדש (Graham et al., 2017). למשל, נמצא כי יערות מחטניים פתוחים תומכים בדרך כלל בעושר עופות רב יותר מאשר יערות צפופים (Latif et al., 2020), ובמקרים מסוימים אף מאפשרים אזור מחיה למינים בעלי זיקה לשטחים פתוחים (Igl and Ballard, 1999). נוסף על כך, מיני עצים מקומיים עדיפים על מיני עצים אקזוטיים (Castaño-Villa et al., 2014), ויער שגדלים בו מגוון מיני עצים עדיף על יער אחיד (Gil-Tena et al., 2007). גם נוכחות שיחים ובני-שיח בקרקע היער מגבירה את עושר מיני העופות (Millan et al., 2015; Dagan and Izhaki, 2019). זאת ועוד, השפעת הייעור משתנה גם בין קבוצות ומינים שונים. למשל, ביערות באירופה נמצא כי עבור מיני עופות 'חובבי עצים' יער צפוף תורם להגדלת העושר, ואילו עבור מינים 'מתמחי בתה' ההשפעה הפוכה (Koivula et al., 2018).

אף על פי שמספר מחקרים בחנו את השפעתם של סוגי יערות שונים על מגוון העופות, ההשפעה של יערות פארק נטועים כמעט אינה ידועה, בייחוד באקלים הים תיכוני של ישראל. יער פארק הוא תצורת יער המאופיינת בצפיפות עצים נמוכה ובכתמים פתוחים נרחבים, המאפשרים שגשוג של צומח עשבוני או מעוצה נמוך, ויוצרים סביבה מגוונת במשאבים, בתנאי אור ובאתרי מסתור. בדרך כלל, באזורים ים תיכוניים בישראל יערות פארק נטועים במיני עצים רחבי-עלים מקומיים, כגון אלה אטלנטית (*Pistacia atlantica*), חרוב מצוי (*Ceratonia siliqua*) ושיזף מצוי (*Ziziphus spina-christi*). עצים האלה עתירי פרי, ומהווים תחנת הזנה חשובה לעופות נודדים בסתיו ובחורף (Sapir et al., 2019; Domer et al., 2004).

במחקר זה בחנו את חברת העופות ביערות פארק נטועים ובבתות סמוכות בעונת הקינון באביב ובעונת הנדידה בסתיו. השערות המחקר היו: א. ביערות הפארק יתקבל עושר מינים גבוה יותר מאשר בבתות, שכן יער פארק מקיים מגוון בתי גידול (כתמים פתוחים ועצים ממינים שונים) המציעים הטרוגניות ונישות רבות יותר למחיה ולהזנה (Tsurim et al., 2009; Vickery and Arlettaz., 2012; Farwell et al., 2020); ב. חרף נוכחות העצים, הכתמים הפתוחים שביער פארק יאפשרו את הימצאותם של מינים המקננים בצמחייה נמוכה או על הקרקע, וכן של מינים מתמחי בתה; ג. יערות הפארק ימשכו עושר גבוה יותר של מינים נודדים בהשוואה

למרות שטחה הקטן ישראל מהווה צומת חשוב במסלולי הנדידה של עופות, ומאופיינת בעושר מינים רב ובמגוון בתי גידול (Frumkin et al., 1995; Roll et al., 2009). עם זאת, שינויים נרחבים בשימושי קרקע לאורך המאה האחרונה הביאו לפגיעה באוכלוסיותיהם של כ-70% ממיני העופות בארץ (Yom-Tov et al., 2012). בעקבות זאת, נרשמה ירידה של 17% בשפע העופות בישראל תוך פחות מעשור, בפרט עבור מינים בעלי זיקה לצמחייה טבעית נמוכה (גרוסברד ורנן, 2024). השינויים האלה כוללים התמרת שטחים טבעיים לחקלאות, יישובים ותשתיות, שהיא הגורם הראשי לאובדן מינים בעולם (בן-משה ורנן, 2022). שינוי משמעותי נוסף הוא ייעור של שטחים פתוחים בעלי צמחייה טבעית נמוכה, תופעה המתרחשת בעולם ובישראל (לוי ואח', 2017; Lambin and Geist, 2008; Hansen et al., 2013). ניכר מהשטחים הפתוחים האלה הוא בתות שמורכבות מתצורות צומח נמוכות – צומח עשבוני, בני-שיח ולעיתים מעט שיחים (שמש ואח', 2021; רותם, 2024).

מכיוון ששטחים טבעיים או טבעיים למחצה בישראל הם משאב מוגבל, מתנהל דיון ציבורי ומחקרי סביב השאלה אם נטיעות בשטחי בתה עלולות לפגוע במגוון ובעושר בעלי החיים והצמחים הקיים בהן. מצד אחד, נטיעת עצים עשויה לספק שירותי מערכת רבים ואף לתרום להגדלת המגוון הביולוגי (פורת ורותם, 2019). מצד שני, שטחי הבתה, שעיקר תצורות הצומח בהם נמוכות (שיחים, בני-שיח ועשבוניים), נחשבים לרגישים במיוחד, ויש חשש שנטיעות יובילו לפגיעה במיני החי והצומח המתקיימים בהם (רוטשילד, 2019; רותם, 2025).

מתוך כלל השטחים הטבעיים בישראל שאינם מיוערים, כ-15% מנוהלים על ידי קק"ל. הם מהווים כשליש מהשטחים בניהולה, ומסווגים כתצורות צומח נמוכות (גוטליב ואוסטרובסקי, 2024). הבתות משמשות בית גידול חשוב למינים רבים של עופות, כולל מינים נדירים ומוגנים (שורק ושפירא, 2018). חלק מהמינים הללו אף זכו להגדרה 'מתמחי בתה' – מינים המתקיימים בעיקר בשטחי בתה ותלויים בהם (מירוז ואח', 2017; רותם, 2025). בעוד שירידה באוכלוסיות עופות בעקבות צמצום שטחי מחיה היא תופעה גוברת בקנה מידה עולמי (Brennan et al., 2005; Fjeldsø, 2015; Inger et al., 2015), גידול פתוחים נפגעים יותר מכולם בארץ ובעולם (Yom-Tov et al., 2012; Rosenzweigberg et al., 2019; Pavlacky et al., 2022). למעשה, לפי הספר האדום של העופות בישראל, יותר ממחצית ממיני העופות המקננים המתמחים בבתות מצויים בסכנת הכחדה (מירוז ואח', 2017). נוסף על כך, בין

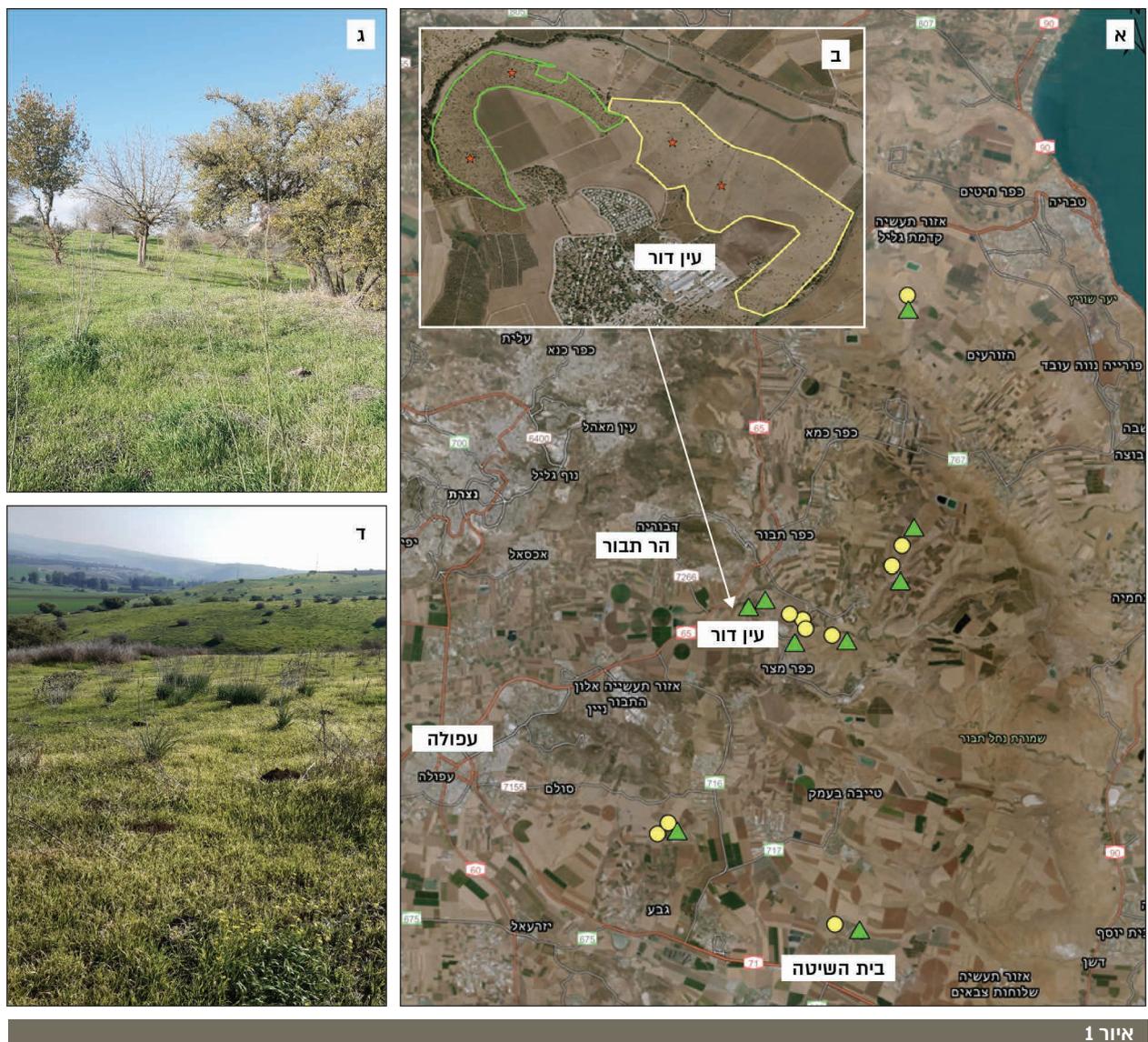
ברובם בתות. חלק ניכר משטחי היער הם יערות פארק, המאופיינים בצפיפות נמוכה של עצים רחבי-עלים. לצורך המחקר נבדקו שמונה אתרים, ובכל אתר נדגם שטח אחד של יער פארק בוגר ושטח סמוך של בתה (איור 1). האתרים נבחרו כך שהיער והבתה יהיו דומים ככל האפשר במאפיינים טופוגרפיים וסביבתיים. עקב מגבלות בזמינות השטחים עמד גודל שטחי היער על 35–400 דונם, בעוד ששטחי הבתה נעו בין 50 דונם ועד ליותר מ-500 דונם. היערות ניטעו בין השנים 1997–2010, וכללו בעיקר את המינים חרוב מצוי, אלה אטלנטית ושיזף מצוי. הבתות כללו בעיקר צומח עשבוני, וכן מעט צומח מעוצה, כגון בני-שיח, שיחים או עצים בודדים. בכל אחד מהשטחים (יער ובתה)

לבתות בשל זמינות מזון רבה יותר, בעיקר של פירות, וכן בזכות השימוש בעצים כמחסה. ממצאי מחקר זה עשויים לסייע לגורמי ניהול היער והשטחים הפתוחים ולתרום לניהול אקולוגי המקדם שימור של מגוון העופות.

## שיטות

### אזור המחקר ומערך הדגימה

המחקר התקיים בשנים 2023–2024 בצפון עמק חרוד ובמזרח הגליל התחתון. השטחים הטבעיים באזור מורכבים בעיקר מיערות נטועים ומשטחים טבעיים ללא יער,



**מפת אזורי המחקר**  
 א. אזור המחקר: משולשים ירוקים מסמלים שטחי יער, ועיגולים צהובים שטחי בתה; ב. דוגמה למערך דגימה באתר בודד: יער (שמאל בירוק), בתה (ימין בצהוב) ומיקום הניטור שהצפר עמד בו (כוכב); ג. יער פארק; ד. בתה עשבונית.

מסביר, והאתר שימש משתנה מקרי כדי לאפשר ניתוח מזווג של שטח יער ובתה בכל אתר. את עושר המינים המצטבר של היער והבתה השווינו על סמך רווחי סמך של 95%, שחושבו בחבילת iNEXT באמצעות bootstrap, בהתאם לשיטת ההערכה של מדד Chao. ניתוח השפעת בית הגידול על שפע העופות בכל אחת מהקבוצות בוצע באותו אופן ולכל קבוצת קינון ועונה בנפרד. לניתוח הרכב החברה השתמשנו באורדינציה מסוג NMDS המבוססת על מדד Bray-Curtis, שבודק את מידת האי-דמיון בין דגימות שונות בתוך כל אתר תוך התחשבות בשכיחות היחסית של המינים, ועל מדד Jaccard שבוחן נתוני הופעה ואי-הופעה של מינים. היות שהמדדים האלה רגישים למספרים קטנים, הניתוח לא כלל מינים שנצפו פחות משתי פעמים, וזאת כדי להימנע מהטיה אפשרית של תצפיות חריגות או שגויות. מכיוון שהדגמים היו דומים בשני המדדים, בחרנו להציג את מבחן Bray-Curtis, היות שהוא נותן מדד כמותי, ולכן מייצג את החברה טוב יותר. לאחר מכן, בדקנו אם יש הבדלים בהרכב החברות ביער ובבתה בעזרת PERMANOVA עם האתר כמשתנה מקרי. לא נכללו בניתוח משתני סביבה, כגון קרבה ליישובים או לשטחים חקלאיים, אולם כל זוגות השטחים שנדגמו (יער ובתה) נבחרו כך שיהיו סמוכים ככל האפשר ובמרחק שווה ממוקדי השפעה אנושיים, במטרה למזער השפעות חיצוניות שאינן קשורות לאופי בית הגידול.

## תוצאות

### עושר מינים

בסך הכול נצפו במחקר כ-70 מיני עופות שונים, מתוכם 51 נצפו בשני בתי הגידול, 16 נצפו רק ביער, ושלושה רק בבתה.

עושר המינים בסקאלה קטנה (ממוצע מינים לאתר) באביב היה גבוה בכ-50% ביער פארק בהשוואה לבתה (איור 2א;  $p=0.00118$ ), ואילו בסתיו היה דומה בשני בתי הגידול (איור 2ב;  $p=0.318$ ). מעבר להבדלים בסקאלת האתר הבודד, ניתן לראות שהפער בין העקומות הולך וגדל, ושאינן חפיפה ברווח הסמך שלהן (איור 2). דבר זה מעיד שההבדל בעושר המינים בין היער לבתה נשמר גם ברמה המרחבית.

### שפע וקבוצות קינון

מבין כלל המינים שזוהו בשטחי המחקר, נרשמו 25 מינים המקננים בעצים, שלושה מינים המקננים על הקרקע, ארבעה מינים המקננים בצמחייה נמוכה, ו-29 מינים נודדים שאינם מקננים. חלוקת העופות לקבוצות קינון הצביעה על הבדלים בין הקבוצות (איור 3). באביב השפע של העופות

בוצעה ספירת עופות בשיטת ספירת נקודה (point count) בנקודה אחת או שתיים, בהתאם לגודל השטח. בשיטה זו המנטר מגיע לנקודה קבועה בשעות הבוקר המוקדמות, שווה בה חמש דקות לשם הרגלת העופות לנוכחותו, ולאחר מכן סופר ומזהה את כל העופות בטווח של 100 מטר במשך 10 דקות לפי מראה וקול. הניטורים התקיימו בעונת האביב (12 במרץ עד 20 באפריל 2024) ובעונת הסתיו (31 באוקטובר עד 29 בנובמבר 2024), המשקפים את עונת הקינון ואת עונת הנדידה המרכזית בהתאמה. בכל אתר נערכו שתי חזרות, תוך הקפדה על תזמון דגימות דומה בין היער לבתה הסמוכה לו. בכל יום נדגמו שלושה עד ארבעה אתרים, ובסך הכול בוצעו כ-80 ספירות בשתי העונות גם יחד.

### סיווג חברת העופות

המינים סווגו בהתאם להעדפות הקינון שלהם בחלוקה הבאה: עופות המקננים בעצים – מינים המקננים בעצים ולעיתים בצומח מעוצה גבוה; עופות המקננים בצמחייה נמוכה – מינים המקננים בצמחייה נמוכה בלבד, כגון שיחים, בני-שיח וצמחים עשבויים; עופות המקננים על הקרקע – מינים המקננים על הקרקע; לא מקננים – מינים שאינם מקננים בישראל או באזור המחקר. מינים מקבוצות קינון אחרות לא נבחנו בנפרד עקב מיעוט נתונים. כמו כן, בוצע סיווג עבור מינים המוגדרים מתמחי בתה – מינים שהבתה היא בית הגידול העיקרי או הבלעדי שלהם. סיווג זה מתבסס על מחקרים קודמים שהגדירו מיני עופות מסוימים כמתמחי בתה, בהתאם לתפוצתם בבתי גידול פתוחים בהשוואה לאחרים. חשוב לציין כי סיווג זה אינו חופף בהכרח לחלוקה לקבוצות קינון. מתמחי בתה הם לרוב עופות המקננים בצמחייה נמוכה או על הקרקע, אך חלק מהם עשויים לקנן גם בעצים או להוות מינים נודדים שאינם מקננים (חולפים). מינים שלא השתייכו לאף אחת מקבוצות הקינון (למשל, מינים המקננים בחורים או במחילות) לא נותחו כקבוצה נפרדת, אך נכללו בחישובי עושר המינים והרכב החברה. הסיווגים השונים התבססו על הספר האדום של העופות בישראל: "המדריך השלם לציפורי אירופה וישראל" (מירז ואח', 2017).

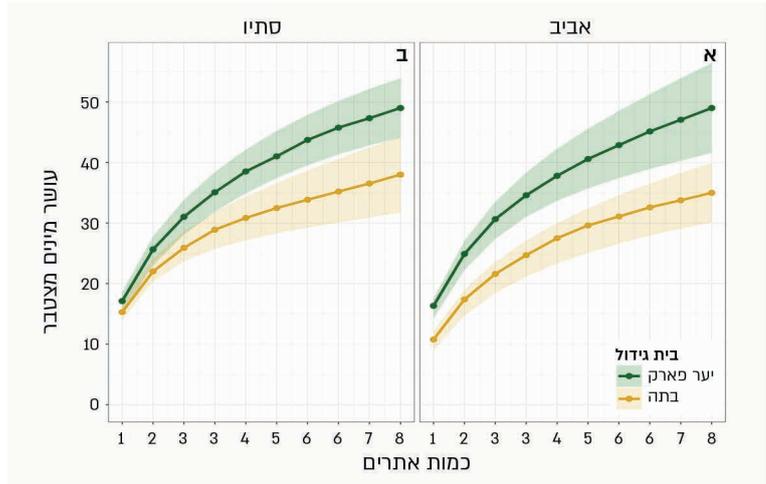
### ניתוח סטטיסטי

כל הניתוחים נעשו בסביבת R (גרסה 4.2.3) בחבילה Vegan. חישוב עושר המינים הממוצע ויצירת עקומות הצטברות בוצעו באמצעות הפונקציה specaccum, המחשבת עושר מינים ממוצע כתלות במספר האתרים הנדגמים. את השפעת בית הגידול (יער או בתה) על עושר המינים בדקנו באמצעות מודל לינארי כללי מעורב (GLMM) עם התפלגות בינומית שלילית ופונקציית קישור לוגריתמית (כדי להתאים לנתוני מנייה). בית הגידול שימש משתנה

איור 2

**עקומת הצטברות מינים כתלות בכמות אתרים**

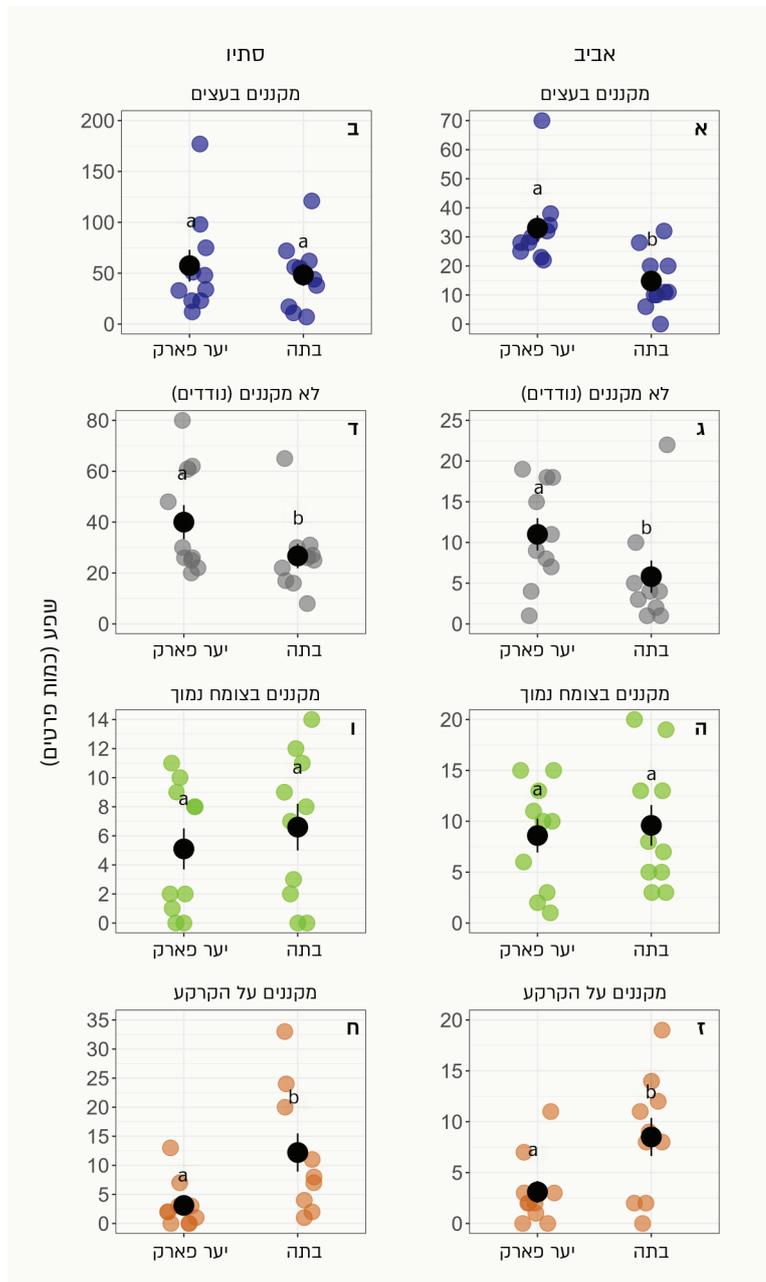
א. באביב; ב. בסתיו. בית הגידול מחולק ליערות פארק (ירוק) ולבתות (כתום). הענן הבהיר בכל עקומה מייצג את רווח הסמך. תחילת העקומה מייצגת את המגוון הממוצע לאתר בודד. עושר המינים המצטבר בשמונת האתרים (סוף העקומה) משקף את המגוון הכולל.



איור 3

**שפע של עופות באביב לפי בית גידול ובחלוקה לקבוצות קינון**

א, ב – מקננים בעצים; ג, ד – נודדים; ה, ו – מקננים בצומח נמוך; ז, ח – מקננים על הקרקע. הבדלים סטטיסטיים בין בתה ליער מוצגים באותיות לועזיות (ברמת מובהקות  $P < 0.05$ , מבחן: GLMM). הקווים מציגים את שגיאת התקן. הערכים המספריים בציר האנכי אינם אחידים.



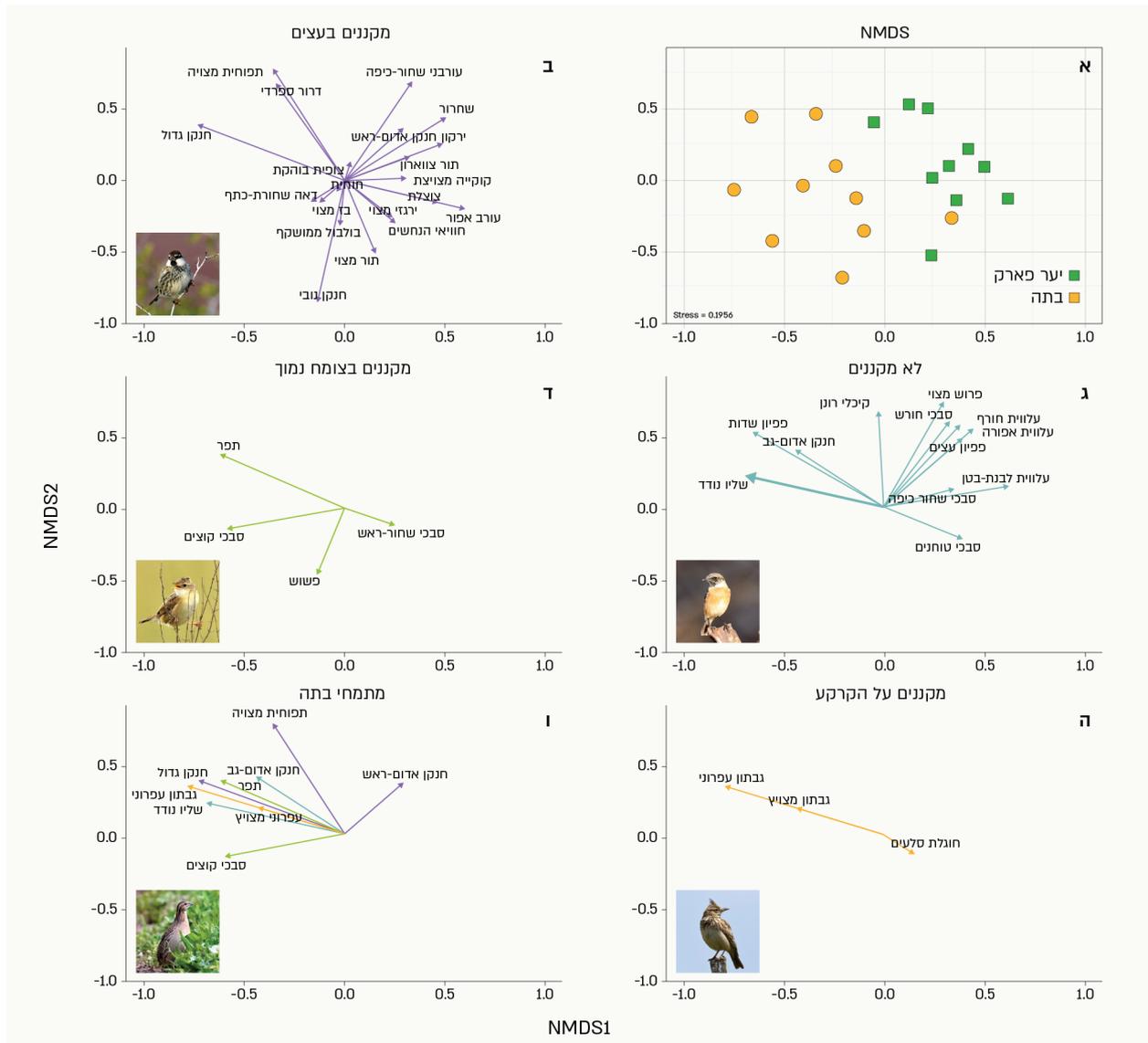
בבתה מאשר ביער באביב (איור 3;  $P=0.014$ ), ופי ארבעה יותר בסתיו (איור 3ח;  $P=0.00127$ ). עבור קבוצת המינים המקננים בצמחייה נמוכה לא נרשמו הבדלים מובהקים בין היער לבתה באף אחת מהעונות.

### הרכב חברה

הרכב חברת העופות ביער נמצא שונה מזה שבבתות באביב (איור 4) ובסתיו (לא מוצג). הבדלים נמצאו גם

המקננים בעצים וכן של המינים הנוודים היה גבוה פי שניים ביער בהשוואה לבתה (איור 3א,  $P=0.0009$ ; איור 3ג,  $P=0.4$ ).

בסתיו לא נצפה הבדל עבור עופות המקננים בעצים ( $p=0.532$ ), אך כן עבור מינים נודדים, שנצפו עם מספר פרטים הגדול יותר ב-40% (איור 3ד;  $P=0.00099$ ). לעומתם, העופות המקננים על הקרקע נמצאו פי שלושה יותר



איור 4

### תוצאות ניתוח הרכב חברה

א. מיקום האתרים השונים במרחב ה-NMDS. בירוק מוצגים אתרי יער פארק, ובצהוב אתרי הבתות. כל נקודה מייצגת שתי חזרות של ספירת נקודה; ב, ג, ד, ה, ו: מיקום המינים במרחב ה-NMDS בחלוקה לקבוצות קינון ולמתמחי בתה (מתמחי בתה מורכבים מכמה קבוצות). צבעי החיצים בהתאם לקבוצות הקינון: סגול: עצים, אפור: לא מקננים, ירוק: צמחייה נמוכה, חום: קרקע. לערכים בצירי הגרפים אין משמעות חישובית. כיוון החץ ואורכו מייצגים את הקשר של המין עם בית הגידול. מינים שנצפו בתצפית יחידה אינם מופיעים באיור. צילומי עופות הם של מינים משטח המחקר: דרוו ספרדי (ב), תפכר (ג), דוחל שחור-גרון (ד), עפרוני מצויץ (ה) ושליו נודד (ו). צילום: סטפן קסטנבוים.

### עושר מינים

עושר המינים הגבוה שנמצא ביער מדגיש את חשיבותם של יערות פארק כבית גידול התומך במגוון עופות רחב, הן ברמה המקומית (ממוצע מינים לאתר) הן ברמה האזורית (סך כל המינים שנצפו בכלל היערות). הממצאים האלה מנוגדים לממצאים מיערות צפופים, מחטניים ומיערות איקליפטוס, שהראו כי היער תומך רק בקבוצה מצומצמת של עופות (Santos et al., 2006; Yom-Tov et al., 2012; Latif et al., 2020). ייתכן כי מבנה הייחודי של יער פארק – פיזור עצים דליל לצד שכבת צמחייה נמוכה – תורם אף הוא לעושר המינים (Dagan and Izhaki, 2019).

נוסף על כך, עושר העופות ביער הפארק הנתוע נמצא גבוה גם בהשוואה לשטחי הבתה הטבעיים. מדובר בממצא מפתיע יחסית, שכן הוא שונה מהשוואות שנעשו בישראל בין בתות ליערות מסוגים אחרים, כגון יערות מחטניים וחורש, שיש בהם מגוון עופות גבוה יותר בשטחי הבתה (גרוסברד ורנן, 2024). אנו משערים כי הסיבות לכך הן ההטרוגניות וריבוי מקורות המזון שיש ביער הפארק ביחס ליער מחטני ולבתה, וכן המבנה הפתוח שלו.

ייתכן שגם לגודל השטחים הייתה השפעה על עושר המינים ביער ובבתה. בבתי גידול של בתה השפעת הגודל עשויה לנבוע מכך ששטחים קטנים אינם מספקים תנאים לקיומם של מינים מתמחים (Shochat, 2001; Caplat and Fonderflick, 2009). עם זאת, מרבית שטחי הבתה באזור גדולים למדי (מעל 500 דונם), ולכן, אם קיימת הערכת חסר בעושר המינים, היא נובעת כנראה מהיקף הדגימה המצומצם (רדיוס דגימה של 100 מטר שאינו מייצג את כלל השטח), וכחות מגודל השטח עצמו. ביערות, שגודלם תחום וקטן יחסית (כ-140 דונם בממוצע), החשש להערכת חסר נמוך יותר, אולם ייתכן ששטח גדול יותר היה מאפשר נוכחות של מיני בתה נוספים גם בהם.

### שפע וקבוצות קינון

הבדלים בשפע של העופות המקננים בעצים ביער (עד כפול מאשר בשטחי הבתה) עולים בקנה אחד עם הידוע ועם הציפייה שיערות ייטיבו עם מינים בעלי זיקה לעצים (Koivula et al., 2018). ההבדל בולט בעיקר באביב, אז נצפה מספר כפול של מינים ביער, ממצא שעשוי לחזק את ההנחה בדבר חשיבות היער כמקום מחיה וקינון התומך במיני עופות יציבים או מקייצים (מינים נודדים השהים בישראל בקיץ).

בקבוצת המינים שאינם מקננים נצפה שפע גבוה יותר ביער בהשוואה לבתה, והפער בלט גם באביב (80%) וגם בסתיו (40%). הנוכחות הגבוהה בסתיו מחזקת את ההשערה

לפי Bray-Curtis (איור 4;  $p=0.002$ ) וגם לפי Jaccard (לא מוצג,  $p=0.002$ ). הציר NMDS1 באיור 4 מייצג את ההפרדה בין שני בתי הגידול. אתרי היער נמצאים בצידו החיובי, ואתרי הבתות בצידו השלילי.

בקבוצת העופות המקננים בעצים, חלק מהמינים נצפו יותר ביער, חלק בבתות, וחלק לא הראו העדפה ברורה לבית גידול כלשהו (איור 4). לעומת זאת, בקבוצת העופות המקננים בצמחייה הנמוכה ועל הקרקע, מרבית המינים נצפו בבתה (איורים 4, 4ה).

מתוך 21 המינים המוגדרים מתמחי בתה, תשעה נצפו בשטחי המחקר. הפיזור היחסי של המינים האלה בין קבוצות הקינון הוא כדלקמן: שניים מקננים על הקרקע – גבתון עפרוני (*Emberiza calandra*) ועפרוני מצויץ (*Galerida cristata*); שניים מקננים בצמחייה נמוכה – סבכי קוצים (*Sylvia communis*) ותפר (*Cisticola juncidis*); שלושה מקננים בעצים – תפוחית מצויה (*Carduelis cannabina*), חנקן גדול (*Lanius excubitor*) וחנקן אדום-ראש (*Lanius senator*); שני מינים שאינם מקננים בארץ – שליו נודד (*Coturnix coturnix*) וחנקן אדום-גב (*Lanius collurio*). רובם המוחלט של המינים הראו העדפה לבתות, למעט תפוחית מצויה וחנקן אדום-ראש, שהם גם היחידים מקבוצה זו שמקננים בעצים (איור 4). מבין המינים שהראו העדפה לבתות, אחד שייך לעופות המקננים בעצים (חנקן גדול), שניים למקננים על הקרקע (גבתון עפרוני ועפרוני מצויץ), שניים למקננים בצמחייה נמוכה (סבכי קוצים ותפר), ושניים הם מינים נודדים שאינם מקננים (חנקן אדום-גב ושליו נודד).

### דיון וסיכום

מתוצאות המחקר עולה שיערות פארק תומכים במגוון עופות רחב, הגבוה בכ-50% מזה שבבתה. כמו כן, נרשמו הבדלים משמעותיים בין קבוצות הקינון: העופות המקננים בעצים ומינים נודדים היו נפוצים בעיקר ביער, בשכוחות כפולה בהשוואה לבתה, ואילו מקנני הקרקע העדיפו את הבתות (פי 3–4 יותר מהיער). גם מינים המוגדרים כמתמחי בתה נמצאו בעיקר בבתות (שבעה מתוך תשעה מינים). ממצאים אלה מדגישים כי יערות פארק תומכים בעושר עופות גבוה, ובייחוד של מינים המקננים בעצים ומינים נודדים. עם זאת, על אף צפיפותם הנמוכה של העצים והכתמים הפתוחים שביניהם, יערות הפארק לא סיפקו תנאים מתאימים למקננים על הקרקע ולמיני בתה מתמחים.

שיערות הם מוקד משיכה לצורכי הזנה עבור מינים נודדים חולפים (Shochat and Tsurim, 2004) (איור 5). לכן, לצד התרומה למיני עופות יציבים, הממצאים מחזקים את חשיבותם של יערות הפארק לתפקוד ציר הנדידה בישראל. עופות נודדים מקייצים משתמשים ביער לקינון, ועופות חולפים מסתמכים על העצים כמקור הזנה והצטיידות.

השפע של העופות המקננים על הקרקע היה גבוה משמעותית בבתות לאורך כל השנה. לכן, אנו משערים כי עבור המינים האלה, ההעדפה לשטחים פתוחים אינה נובעת רק מהצורך באתר קינון, אלא גם מצרכים נוספים, כגון מחסה מטורפים והגנה מפגעי מזג האוויר (Johnson et al., 2019). הממצאים האלה נתמכים במחקרים המראים כי מינים המתמחים בבתי גידול פתוחים נוטים לשמר את בחירתם בבית הגידול גם מחוץ לעונת הקינון, תוך הימנעות מאזורים שכיסוי הצומח המעוצה בהם צפוף (Igl and Ballard, 1999). הדבר גם עשוי להסביר מדוע יערות הפארק שנבדקו לא שימשו מקלט למיני קרקע, על אף הימצאות כתמים פתוחים בתוכם.

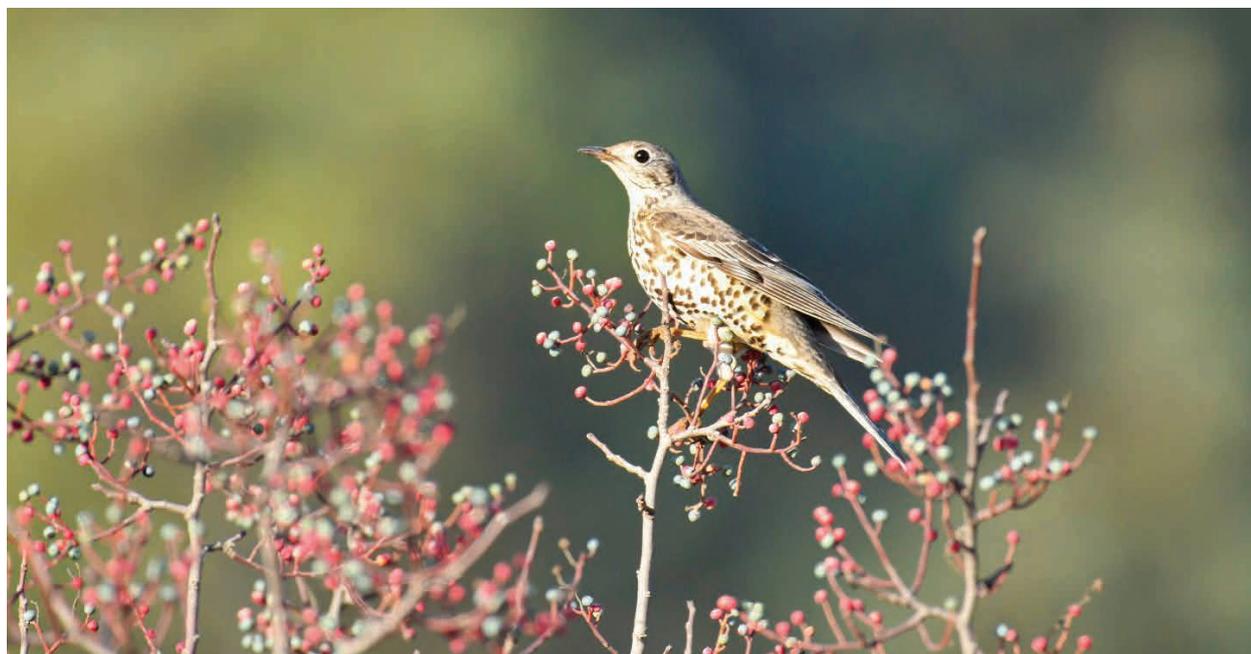
הימצאותם המועטה של מתמחי הבתה ביערות המחקר מנוגדת להשערתנו כי יערות פארק, הודות למבנה הפתוח שלהם, יוכלו לשמש בית גידול תומך עבורם. הממצאים האלה מחזקים את ההבחנה שמתמחי בתה בישראל תלויים בבתי גידול טבעיים בעלי צומח נמוך, וכי יערות פארק, על

הימצאותם בהם.

הרכב חברה ומתמחי בתה

כצפוי, עופות המקננים בעצים העדיפו את היער. עם זאת, נמצאו גם יוצאי דופן, בהם עופות דורסים, כגון בז מצוי (*Falco tinnunculus*) ודאה שחורת-כתף

הימצאותם המועטה של מתמחי הבתה ביערות המחקר מנוגדת להשערתנו כי יערות פארק, הודות למבנה הפתוח שלהם, יוכלו לשמש בית גידול תומך עבורם. הממצאים האלה מחזקים את ההבחנה שמתמחי בתה בישראל תלויים בבתי גידול טבעיים בעלי צומח נמוך, וכי יערות פארק, על



איור 5

#### אלה אטלנטית עתירת פרי

בתקופת הסתיו וראשית החורף האלה משמשת עץ חשוב בהזנה של עופות נודדים. בתמונה קיכלי גדול. צילום: סטפן קסטנבוים.

### סיכום והמלצות ממשק

תוצאות המחקר מצביעות על כך שיערות הפארק מהווים בית גידול חשוב שתורם להגדלת העושר והשפע של העופות בעונת הקינון באביב ובעונת הנדידה בסתיו – בניגוד ליערות מחטניים, שהמגוון בהם בדרך כלל נמוך מזה שבבתות. יערות הפארק אפשרו גם את קיומם של חלק מהמינים המזוהים עם שטחים פתוחים. עם זאת, עבור רוב המינים המקננים על הקרקע או בצמחייה הנמוכה, ומינים מתמחי בתה, הממצאים מראים שיער פארק אינו תחליף לבתות טבעיות, המהוות את בית הגידול המרכזי שלהם.

כדי לתמוך במגוון רחב של מיני עופות בעלי העדפות אקולוגיות שונות מומלץ לאפשר פסיפס נופי מגוון, הכולל גם יערות פארק וגם בתות טבעיות, תוך שמירה על רציפות וגודל של השטחים. נוסף על כך, כדי להפיק את מרב התרומה מיערות הפארק לעושר המינים, יש לתת עדיפות לנטיעת עצים רחבי-עלים מקומיים ולשמר שכבת צמחייה נמוכה בקרקע היער. ניהול מושכל ומאוזן של יערות ושטחים פתוחים עשוי לתרום לשימור מגוון העופות ואף לסייע בהאטת מגמת הירידה באוכלוסיותיהם בישראל ובעולם.

אף מאפייניהם הפתוחים, אינם מהווים עבורם בית גידול מלא. מאחר שמתמחי הבתה הם קבוצה בסיכון גבוה בארץ ובעולם (מירוז ואח', 2017; גרוסברד ורנן, 2024; Dokter et al., 2019; Pavlacky et al., 2022), קיימת חשיבות לשמירה על בתי הגידול המשמשים אותם.

### הבדלים עונתיים

להבדיל ממחקרים קודמים שנערכו בישראל, שהראו שביערות עושר מינים גבוה יותר בסתיו לעומת האביב, במחקר זה לא נצפו הבדלים עונתיים משמעותיים, ובפרט בשטחי היער. הדבר מפתיע לנוכח העובדה שתקופת הסתיו בישראל מאופיינת בשפע עופות גדול יותר מאשר באביב, עקב הבדלים במסלול הנדידה ובשיעור השרידות של העופות (Frumkin et al., 1995). ייתכן שההבדל נעוץ בתפקוד היער בכל אחת מהעונות. בסתיו הצומח משמש בעיקר מקור להצטיידות במאגרי שומן (Domer et al., 2019), ואילו באביב הוא משמש גם מקום קינון (McGarigal and McComb, 1995; Fletcher and Koford, 2002). לכן, היעדר הבדל בעושר המינים ביער בין העונות עשוי להעיד על אחת משתי אפשרויות: בסתיו היערות אינם מוקד משיכה חזק דיו, או לחלופין, היעדר ההבדל נובע ממשיכה עודפת ליער באביב.

## מקורות

- Brennan LA and Kuvlesky Jr WP. 2005. North American grassland birds: An unfolding conservation crisis? *The Journal of Wildlife Management*, 69(1), 1–13.
- Caplat P and Fonderflick J. 2009. Area mediated shifts in bird community composition: A study on a fragmented Mediterranean grassland. *Biodiversity and Conservation*, 18(11), 2979–2995.
- Castaño-Villa GJ, Estevez JV, and Fontúrbel FE. 2014. The role of native forest plantations in the conservation of Neotropical birds: The case of the Andean alder. *Journal for Nature Conservation*, 22(6), 547–551.
- Crowe O, Beresford AE, Buchanan GM, Grantham HS, Simkins AT, Watson JE, et al. 2023. A global assessment of forest integrity within key biodiversity areas. *Biological Conservation*, 286, 110293.
- Dagan U and Izhaki I. 2019. Understory vegetation in planted pine forests governs bird community composition and diversity in the eastern Mediterranean region. *Forest Ecosystems*, 6, 1–16.
- Domer A, Shochat E, Ovadia O, and Sapir N. 2019. Fruit consumption in migratory passerines is limited by water ingestion rather than by body water balance. *Journal of Avian Biology*, 50(5), jav.02021.
- Farwell LS, Elsen PR, Razenkova E, Pidgeon AM, and Radeloff VC. 2020. Habitat heterogeneity captured by 30-m resolution satellite image texture predicts bird richness across the United States. *Ecological Applications*, 30(8), e02157.
- 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.
- גרוסברד ש ורנן א (עורכים). 2024. **דו"ח מצב הטבע 2023 – כרך המגוון הביולוגי**. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- גוטליב ש ואוסטרובסקי ג. 2024. לא רק עצים – קק"ל מפרסמת את מדיניות הניהול שלה לשטחי תצורות צומח נמוכות. **אקולוגיה וסביבה**, 21(5).
- לוי ד, לוין נ ואיוואמורה ט. 2017. כרוניקה של בתי גידול: מי הרוויח ומי הפסיד? מבט ממעוף הציפור. **אקולוגיה וסביבה**, 8(3), 10–12.
- סוונן ל, אלון ד, ארבל א ולשם י (עורכים). 2020. **הציפורים: המדריך השלם לציפורי אירופה וישראל**. הוצאת הקיבוץ המאוחד.
- מירוז א, וין ג, לבינגרז, שטייניץ ע, הצופה א, חביב א ואח'. 2017. **הספר האדום של העופות בישראל**. החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים.
- פורת י ורותם ד. 2019. ניהול יערות קק"ל ותפקודם כעוגנים טבעיים ברצף השטחים הפתוחים והמסדרונות האקולוגיים. **אקולוגיה וסביבה**, 10(1), 8–10.
- רוטשילד א. 2019. מ"שיפור הנוף" לשמירת המערכות האקולוגיות הטבעיות – הצורך בהפסקת פעולות ייעור בשטחים טבעיים בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 10(2), 44–46.
- שורק מ ושפירא ע (עורכים). 2018. **דו"ח מצב הטבע 2018**. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- שמש ב, מן ב, נתן ד ופירלברג א. 2021. **מדריך למיפוי הצומח בישראל, המדורה מעודכנת ומאוחדת לצומח היס תיכוני ולצומח המדברי**. מכון דש"א.

- Millan CH, Develey PF, and Verdade LM. 2015. Stand-level management practices increase occupancy by birds in exotic Eucalyptus plantations. *Forest Ecology and Management*, 336, 174–182.
- Pavlacky Jr DC, Green AW, George TL, Iovanna R, Bartuszevige AM, Correll MD, et al. 2022. Landscape-scale conservation mitigates the biodiversity loss of grassland birds. *Ecological Applications*, 32(3), e2548.
- Roll U, Stone L, and Meiri S. 2009. Hot-spot facts and artifacts-questioning Israel's great biodiversity. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 55(3), 263–279.
- Rosenzweigberg KV, Dokter AM, Blancher PJ, Sauer JR, Smith AC, Smith PA, et al. 2019. Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461), 120–124.
- Santos T, Telleria JL, Diaz M, and Carbonell R. 2006. Evaluating the benefits of CAP reforms: Can afforestations restore bird diversity in Mediterranean Spain? *Basic and Applied Ecology*, 7(6), 483–495.
- Shochat E, Abramsky Z, and Pinshow B. 2001. Breeding bird species diversity in the Negev: Effects of scrub fragmentation by planted forests. *Journal of Applied Ecology*, 38(5), 1135–1147.
- Shochat E and Tsurim I. 2004. Winter bird communities in the northern Negev: Species dispersal patterns, habitat use and implications for habitat conservation. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1571–1590.
- Tsurim I, Abramsky Z, and Kotler BP. 2009. The structure of winter bird communities in the northern Negev shrub-steppes: Relating species composition to habitat structure. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 55(1), 41–61.
- Vickery J and Arlettaz R. 2012. The importance of habitat heterogeneity at multiple scales for birds in European agricultural landscapes. In: Fuller RJ (Ed). *Birds and Habitat*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 177–204.
- Yom-Tov Y, Hatzofe O, and Geffen E. 2012. Israel's breeding avifauna: A century of dramatic change. *Biological Conservation*, 147(1), 13–21.
- Fjeldsà J. 2005. State of the world's birds 2004: Indicators for our changing world. *Oryx*, 39(1), 101–102.
- Fletcher Jr RJ and Koford RR. 2002. Habitat and landscape associations of breeding birds in native and restored grasslands. *The Journal of Wildlife Management*, 1011–1022.
- Frumkin R, Pinshow B, and Kleinhaus S. 1995. A review of bird migration over Israel. *Journal für Ornithologie*, 136(2), 127–147.
- Gil-Tena A, Saura S, and Brotons L. 2007. Effects of forest composition and structure on bird species richness in a Mediterranean context: Implications for forest ecosystem management. *Forest Ecology and Management*, 242(2–3), 470–476.
- Graham CT, Wilson MW, Gittings T, Kelly TC, Irwin S, Quinn JL, et al. 2017. Implications of afforestation for bird communities: The importance of preceding land-use type. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3051–3071.
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, et al. 2013. High-resolution global map of 21<sup>st</sup>-century forest cover change. *Science*, 342, 850–853.
- Igl LD and Ballard BM. 1999. Habitat associations of migrating and overwintering grassland birds in southern Texas. *The Condor*, 101(4), 771–782.
- Inger R, Gregory R, Duffy JP, Stott I, Voříšek P, and Gaston KJ. 2015. Common European birds are declining rapidly while less abundant species' numbers are rising. *Ecology Letters*, 18(1), 28–36.
- Johnson AE, Sillett TS, Luther D, Herrmann V, Akre TA, and McShea WJ. 2019. Effects of grassland management on overwintering bird communities. *The Journal of Wildlife Management*, 83(7), 1515–1526.
- Koivula MJ, Chamberlain DE, Fuller RJ, Palmer SC, Bankovics A, Bracken F, et al. 2018. Breeding bird species diversity across gradients of land use from forest to agriculture in Europe. *Ecography*, 41(8), 1331–1344.
- Latif QS, Truex RL, Sparks RA, and Pavlacky Jr DC. 2020. Dry conifer forest restoration benefits Colorado Front Range avian communities. *Ecological Applications*, 30(6), e02142.
- McGarigal K and McComb WC. 1995. Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range. *Ecological Monographs*, 65(3), 235–260.



תפוחית מצויה  
צילום: סטפן קסטנבוים



# חקר השינויים במארגי המזון וחשיבותו לניהול שטחים פתוחים בעידן של שינוי האקלים

יגאל גרנות<sup>1\*</sup> | סול ברנד<sup>2</sup> | משה שחק<sup>2</sup>

- 1 המרכז הבינתחומי, מדרשת שדה בוקר
- 2 המכונים לחקר המדבר, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
- \* yigalg.boker@gmail.com

## תקציר

אופנים מרכזיים: הכחדת מינים ישירה; היכחדות משנית של אוכלוסיות התלויות במינים שנכחדו מהאזור; חיווט מחדש של מארג המזון בעקבות התבססות מינים חדשים.

השלכות המחקרים על ניהול שטחים פתוחים מצביעות על הצורך בזיהוי מוקדם של נקודות חולשה אקולוגיות, ניטור רמות טרופיות שונות ושימוש בגישות מבוססות מארג מזון לניהול אקולוגי של שטחים פתוחים. הבנת הדינמיקה של מארגי המזון בשטחים פתוחים מדבריים, המהווים מערכת פשוטה יותר מזו של היערות, תאפשר פיתוח אסטרטגיות ניהול שיתמודדו עם שינוי האקלים וימנעו קריסה תפקודית של השטחים הפתוחים והיערות.

שינוי האקלים משפיע על יציבותן ותפקודן של מערכות אקולוגיות ברחבי העולם, תוך יצירת שינויים משמעותיים בהרכב ובדינמיקה של מארגי המזון. אירועי קיצון, כגון בצורות וגלי חום, עשויים להוביל להכחדת מיני מפתח, לשינויים באינטראקציות ביוטיות ולהתבססות של מינים פולשים, תהליכים המשפיעים ישירות על תפקודה של המערכת האקולוגית.

מאמר זה משלב מחקר אמפירי עם שיקולים עיוניים, והשלכותיו מעשיות. המחקר האמפירי מתמקד בהשפעת שינוי האקלים על מארג המזון בשטחים פתוחים מדבריים, תוך שימת דגש על השפעות אקולוגיות ארוכות טווח בנגב וזאת באמצעות ניטור ממושך של אוכלוסיות של מיני מפתח, ניתוח מגמות אקלימיות ובחינת שינויים במארג המזון. המחקרים שנערכו בין השנים 1973–2020 מדגימים כיצד היכחדות אוכלוסיית טחבן המדבר הובילה להפחתה משמעותית בצפיפות האוכלוסייה של הטורף העיקרי שלו, העקרב עבֵד צהוב, ולפלישה של העקרב צרבן ישראלי. הממצאים האלה תומכים במודלים תאורטיים המצביעים על כך ששינוי האקלים משפיע על מארגי המזון בשלושה

### מילות מפתח

הכחדת מינים, חיווט מחדש, טחבן המדבר, עבֵד צהוב, צרבן ישראלי

## מבוא

בעוד שניטור ומניעת חדירת מינים פולשים עשויים לסייע במניעת שיבוש מארג המזון ובימור השירותים האקולוגיים מהמערכת מספקת (Carnicer et al., 2011).

מאמר זה מציג את החשיבות של חקר השפעות שינוי האקלים על מארג המזון באמצעות מחקר אמפירי שנערך בשטחים פתוחים בנגב. השטחים המדבריים האלה מהווים מערכות אקולוגיות פשוטות יחסית, כיוון שמספר המרכיבים הביולוגיים בהן נמוך והאינטראקציות ביניהם מוגבלות. היות שכך, הן יכולות לשמש מודל טוב ונוח למחקר של מערכות אקולוגיות בכלל. המחקר, שנמשך כמעט 50 שנה, מבוסס על ניטור ארוך טווח של טמפרטורה, דפוסי משקעים ודינמיקה של אוכלוסיות מפתח, ומטרתו לנתח את הקשרים בין שינוי האקלים, מארג המזון והתפקוד האקולוגי של המערכת. על בסיס הממצאים האלה מוצעת מסגרת להבנת הקשרים בין שינוי האקלים למארגי המזון והשלכות שינוי האקלים על חקר מארגי המזון בניהול שטחים פתוחים.

המחקר האמפירי נערך בהר הנגב המאפיין אזור מדברי צחיח. הוא התבסס על מארג המזון המרכזי באזור, ונבחנו בו התנדודות בגודל האוכלוסייה של מינים מרכזיים במארג המזון במישור הלס ליד שדה בוקר. לפני כן, ערכנו מחקר מקדים בנחל הרועה (מיובלי נחל הבשור, בהר הנגב הצפוני) כדי להבהיר היבטים מסוימים במארג המזון במישורי הלס. חקרנו סרטן יבשה בשם טחבן המדבר (*Hemilepustus reaumuri*) כצרכן ראשוני, ועקרב בשם עבֵיד צהוב (*Scorpio maurus palmatus*) כצרכן שניוני, לפני תקופה של בצורת מתמשכת ואחריה. טחבן המדבר הוא מין מפתח (Yair and Shachak, 1982) בעל בימסה גבוהה ליחידת שטח (Shachak, 1980; Citron-Pousty and Shachak, 1998) הניזון משני מקורות הזמינים כל השנה – צמחים יבשים וקרומי קרקע ביולוגיים (Shachak et al., 1976). העבֵיד הצהוב גם הוא מין מפתח. הוא הטורף הראשוני היחיד שמקשר בין צרכנים ראשוניים (חסרי חוליות) לטורפים (בעלי חוליות). העבֵיד נוקט אסטרטגיה של "שב וחכה" (Shachak and Brand, 1983) וניזון בעיקר מטחבן המדבר, מחיפושיות, מנמלת הקציר (*Messor* sp.) ומחרקים נוספים, וכן מעכבישים ומעקרבים אחרים. טורפיו הם עופות שונים ובהם דורסים, וכן קיפודים, שועלים, מכרסמים ויונקים אחרים, נחשים, לטאות וזוחלים אחרים, עכבישים ועקרבים. כמו כן גם נחקר העקרב צרבן ישראלי (*Buthus occitanus israelis*) והואיל והוא מין סימפטר (חי בתפוצה גאוגרפית חופפת) לעבֵיד הצהוב, שחי בדרך כלל בגבעות סלעיות תחת אבנים. הוא ניזון מטרמיט הקציר (*Anacanthotermes ubachi*) שלמעשה מהווה את מזונו העיקרי, וכן מהמינים שהעבֵיד ניזון מהם. טורפיו הם אותם טורפים כמו טורפי העבֵיד (סקוטלסקי, 1994; Levy and

שינוי האקלים מעצב מחדש מערכות אקולוגיות ברחבי העולם, תוך השפעה עמוקה על המבנה, התפקוד והיציבות שלהן (Malhi et al., 2020). עלייה בתדירות אירועי קיצון, שינויים בדפוסי משקעים וגלי חום ממושכים יוצרים לחצים סביבתיים שמובילים לארגון מחדש של מערכות אקולוגיות. שטחים פתוחים רגישים במיוחד לשינויים האלה, שכן הקשרים בין תנאי הסביבה לבין יחסי הגומלין בין אורגניזמים קובעים את יציבותה של המערכת האקולוגית לאורך זמן.

אחד הגורמים המרכזיים המכתיבים את תפקוד המערכת האקולוגית הוא מארג המזון, המתווך את זרימת האנרגיה ומחזור היסודות בין רמות טרופיות שונות. שינוי האקלים עשוי לערער את יציבות מארג המזון בדרכים מגוונות, כולל יצירת שינויים בנישיות אקלימיות והידרולוגיות, שיבוש יחסי טורף-נטרף והכחדת מיני מפתח. השינויים האלה יכולים להשפיע על כלל התהליכים האקולוגיים במערכת, מדינמיקה של אוכלוסיות ועד למחזור חומרי הזנה (O'Connor et al., 2011; Ockendon et al., 2014; Marasekare, 2015). כמו כן, עלולה להתרחש היכחדות משנית, כלומר עלול להתרחש אובדן של מינים המשמשים מקור מזון מרכזי, שיוביל לקריסת אוכלוסיות שתלויות בהם, ויפגע ביציבות האקולוגית. נוסף על כך, שינוי האקלים עלול לגרום לחיווט מחדש של מארג המזון, כלומר חיבור מחדש בין רכיבי המערכת בהתאם לשינוי שחל בהם, שבמהלכו חדירה של מינים פולשים מובילה לשינויים במבנה ובתפקוד האקולוגי של זרימת אנרגיה ומחזור יסודות (Portner and Farrell, 2014; Binzeret et al., 2012; Dell et al., 2008). לכן, חקר ההשפעה של שינוי האקלים על מארג המזון חיוני להבנת האופן שמערכות אקולוגיות מגיבות לשינויים סביבתיים, ולפיתוח אסטרטגיות ניהול מושכלות שיבטיחו את שימורן ותפקודן העתידי.

שטחים פתוחים הם מערכות אקולוגיות דינמיות הנשענות על מארגי מזון מורכבים. יחסי טורף-נטרף, תחרות, האבקה ופירוק חומר אורגני במארגי המזון הללו מווסתים את תפקודן של המערכות האקולוגיות. שינויים במארג המזון עשויים להשפיע על יציבות המערכת האקולוגית בדרכים שונות, כולל בקרת אוכלוסיות מזיקים, מחזור חומרי הזנה ושימור המגוון הביולוגי. הבנת השינויים במארגי המזון עשויה לסייע בפיתוח אסטרטגיות ניהול יעילות לשטחים פתוחים. למשל, ניהול של אוכלי עשב במארג המזון יכול למנוע התפשטות שרפות, ובכך להגן על הצמחייה. תמיכה במגוון הביולוגי של מפרקים או בניהול מושכל של נשר צמחי וחומר אורגני עשויה לתרום למחזור חומרי הזנה ולבריאות הקרקע,

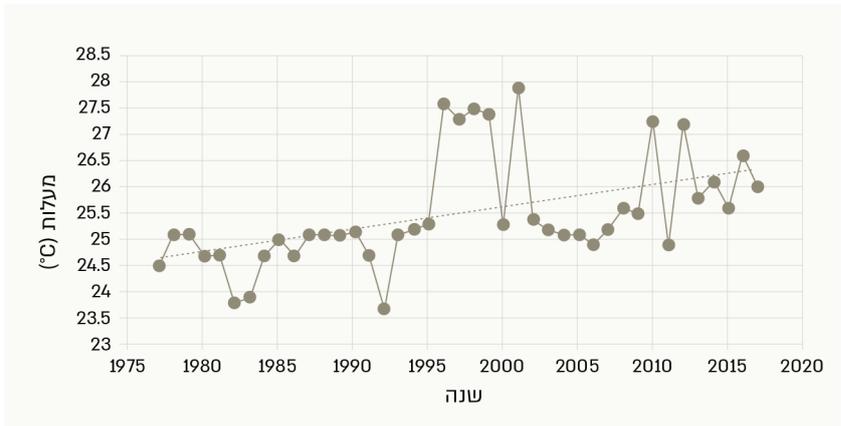
הטחבן בשטח) במישור הלס בשטח של ארבעה דונם. בשטח נספרו כל מחילות טחבן המדבר פעמיים בשנה: בשלב יצירת הזוגות ובפרואר ובסיון עונת הפעילות באוקטובר. מספר הפרטים למחילה נאמד באמצעות מדד לינקולן (Adams, 1951). הניתוח כלל שינויים בגודל האוכלוסייה לאורך זמן, ובדיקה אם יש להם קשר למשטר הגשמים. גודל האוכלוסייה של העבֵד הצהוב כומת באותו שטח. מכיוון שבמחילת עקרב יש פרט אחד בלבד, גודל האוכלוסייה שווה למספר המחילות הפעילות בשטח (לפירוט השיטות ראו גרנות ואח', 2012). הצרבן הישראלי הוא מין עקרב שנחקר במקביל בנחל הרועה. במחקר הנוכחי התגלה שהצרבן פלש למישור הלס משטחים סמוכים בנחל הרועה. הפלישה אירעה לאחר בצורת שגרמה להכחדת האוכלוסייה של טחבן המדבר במישור הלס. בעקבות השינוי הצרבן נעשה חלק ממארג המזון במישור הלס. אומדן האוכלוסייה שלו בשנים 2008–2020 נעשה באמצעות תצפיות ישירות על פעילות בלילות ללא ירח ובעזרת פנסי אור אולטרה-סגול (סקוטלסקי, 1994).

**עומס טריפה ופעילות העבֵד** – עומס הטריפה של העבֵד, כלומר מספר הנטרפים למחילת עקרב, הוערך על ידי איסוף ומיון של שרידי טרף שנאספו בכניסה למחילות העקרבים. כל פריטי המזון שנמצאו נספרו, ולאחר מכן נבדק חלקו היחסי – באחוזים – של כל פריט מזון. איסוף פריטי המזון מפתח המחילות התבצע בשנים 1982/3, 1985/6, 2005/6, 2019/20, ולא בוצעו ניסויי מעבדה. גודל טריטוריות העקרב הוערך בעזרת המרחק בין המחילות בעונות שונות במהלך השנים 2010 ו-2011.

**תוצאות**

**שינוי האקלים:** איור 1 מתאר את השונות בטמפרטורות המרביות השנתיות, שמייצגת גלי חום, בשנים 1977–2017.

**איור 1**  
טמפרטורות מרביות שנתיות שנרשמו במישורי הלס מקור הנתונים: התחנה המטאורולוגית של המכונים לחקר המדבר במדרשת שדה בוקר.



(Amitai, 1980). המאמר מדגיש שמעבר להיבט התאורטי, חקר השינויים במארג המזון עשוי להוות כלי ניהול חשוב בעידן של שינוי אקלים. הבנה מעמיקה של המנגנונים המעצבים מחדש את מארג המזון עשויה לסייע בפיתוח אסטרטגיות שימור והתמודדות עם התמוטטות תפקודית של מערכות אקולוגיות (Thakur, 2020; Manlick et al., 2024).

**שיטות**

**אזור המחקר** – המחקר נערך בנגב המרכזי בישראל בשנים 1973–2020. טחבן המדבר נחקר ברציפות, ואילו העקרבים נחקרו בהפסקות בשני שטחים: מדרון טרשי וערוץ בנחל הרועה הנמצא ברכס חלוקים (נ"צ N1779 E5315) ומישור לס בשדה צין שליד מדרשת בן-גוריון (נ"צ N1797 E5305). בכל בית גידול היו שטחי מחקר קבועים בחלקות של ארבעה דונם.

**אקלים** – לחקר שינוי האקלים בעשורים האחרונים הסתייענו בנתוני אקלים שנאספו בתחנה המטאורולוגית של המכונים לחקר המדבר, הסמוכה לאזור המחקר. ניתחנו נתוני גשמים רב שנתיים בשנים 1974–2022, כלומר שנתיים מעבר לתקופת המחקר, כדי לבחון אם היו שינויים הפיכים מבחינת האורגניזמים שנבחנו. בדקנו את השינוי בממוצע המשקעים הרב שנתי ואת תדירות הבצורות כדי להסיק לגבי תנודות ומגמות בגשם. בדקנו את מהלך הטמפרטורות המרביות השנתיות בין השנים 1977–2017, וניתחנו את מגמת השינוי הכללי תוך מתן דגש לשנים עם טמפרטורות מרביות גבוהות, שמצביעות כנראה על גלי חום.

**אומדן גודל אוכלוסיות** – כימתנו את גודל אוכלוסיות טחבן המדבר במשך 37 שנים (משנת 1973 עד שנת 2009 – השנה שעדיין הייתה בה אוכלוסייה קטנה של

צנח ממוצע של 50 משפחות ל-100 מ"ר לפחות משלוש משפחות ל-100 מ"ר, ולאחר מכן האוכלוסייה נכחדה (איור 3). כדי לוודא שזה אכן המצב נערך ניטור קבוע במהלך עשר השנים שלאחר מכן.

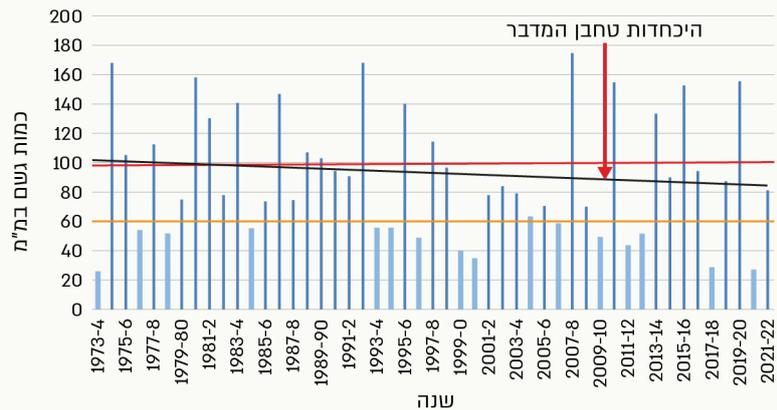
**תגובות העבֵיִד הצהוב להיכחדות טחבן המדבר:** איור 4 מתאר את התגובה הראשונית של העבֵיִד הצהוב להיכחדות המקומית של טחבן המדבר – שינוי בהרכב המזון. האיור ממחיש את הרכב המזון של העבֵיִד הצהוב בהתבסס על שאריות מזון שנצפו בפתחי המחילות לפני היכחדות טחבן המדבר ואחריה.

נראה שיש מתאם בין אחוז הטחבנים בדיאטה של העבֵיִד לבין גודל האוכלוסייה של העבֵיִד. לפני ההיכחדות המקומית העבֵיִד ניזון בעיקר מטחבנים, מחיפושיות ומנמלים. לאחר היכחדות טחבן המדבר הוא הוחלף לראשונה בחרקים אחרים, ואוכלוסיית העבֵיִד הצטמצמה (איור 5).

הטמפרטורה הקרבית הממוצעת הציגה עלייה משמעותית של 2 מעלות צלזיוס, מ-24.5 ל-26.5 מעלות צלזיוס, וכן נרשמה עלייה בתדירות גלי החום. התבנית של כמויות המשקעים השנתיות במהלך 40 שנות הניטור מתוארת באיור 2. נצפתה ירידה הדרגתית בכמות המשקעים השנתית הממוצעת, ירידה ממוצע רב שנתי של 100 מ"מ בתחילת התקופה, לממוצע רב שנתי של 80 מ"מ בסיומה. במקביל עלתה התדירות של אירועי בצורות במהלך 20 השנים שבין 1994 ל-2014. בתקופה זו התרחשו מקרים חוזרים ונשנים של שנתיים רצופות של בצורות, שהיו בלעדיות ל-20 השנים הללו.

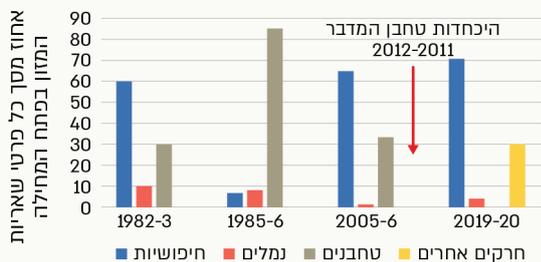
**שינוי האקלים והיכחדות מקומית של אוכלוסיית טחבן המדבר:** אוכלוסיית טחבן המדבר במישור הלס נכחדה מקומית בשנה ההידרולוגית 2011/12, לאחר שני עשורים של עלייה בתדירות הבצורות בין השנים 1993–2012 (איור 2). חלה ירידה משמעותית בגודל האוכלוסייה, והוא

איור 2



**משטר הגשמים, שנות בצורת מתונות וקיצוניות ושנת היכחדות אוכלוסיית טחבן המדבר במישור הלס**

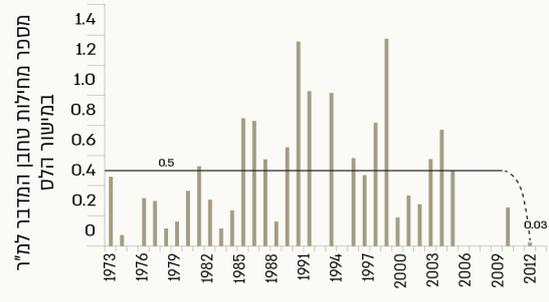
קו ממוצע הגשמים, 100 מ"מ, מסומן באדום, מגמת השינוי בממוצע הרב שנתי של הגשמים מסומנת בקו שחור, בצורות קיצוניות מסומנות בעמודה רחבה בתכלת, וקו 60 מ"מ המציין בצורת, מסומן בכתום. הנתונים מוצגים לפי שנים הידרולוגיות, מאוקטובר בשנה אחת לאוקטובר בשנה העוקבת. מקור הנתונים: התחנה המטאורולוגית של המכונים לחקר המדבר במדרשת שדה בוקר.



איור 4

**שאריות המזון בפתח המחילות של מיני טרף העבֵיִד לפני היכחדות הטחבנים ואחריה**

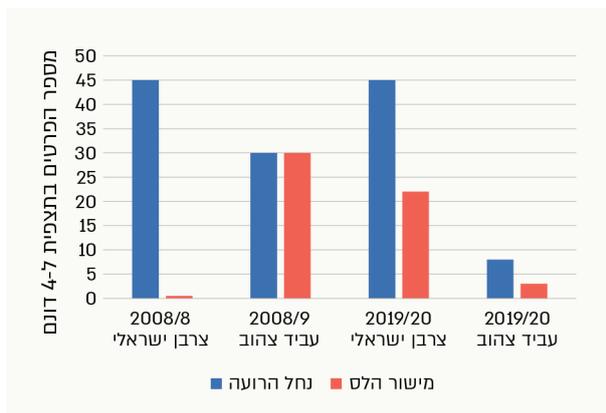
הנתונים מוצגים לפי שנים הידרולוגיות, מאוקטובר בשנה אחת לאוקטובר בשנה העוקבת.



איור 3

**צפיפות מחילות של טחבן המדבר במישור הלס**

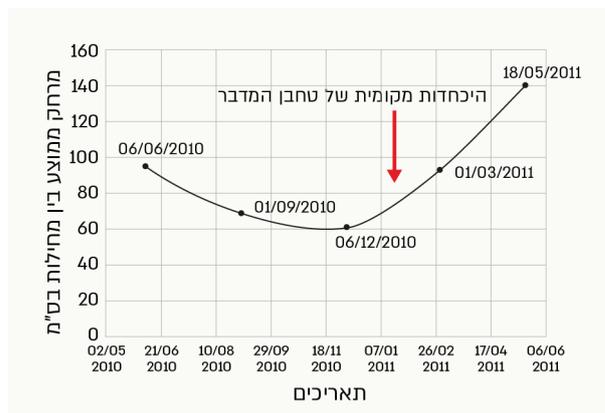
הקו השחור הרציף מציין את מספר המחילות הממוצע הרב שנתי. החל מ-2012 האוכלוסייה נכחדה.



איור 6

**מספר הצרבנים והעבִידים שנצפו בשני בתי הגידול בנחל הרועה ובמישור הלס לפני היכחדות הטחבנים (שנת 2008/9) ואחריה (שנת 2019/20)**

הנתונים מוצגים לפי שנים הידרולוגיות, מאוקטובר בשנה אחת לאוקטובר בשנה העוקבת.



איור 5

**מרחקים ממוצעים בין מחילות העבִידים במישור הלס לפני היכחדות הטחבנים ואחריה**

הנתונים מוצגים לפי שנים הידרולוגיות, מאוקטובר בשנה אחת לאוקטובר בשנה העוקבת.

## דין

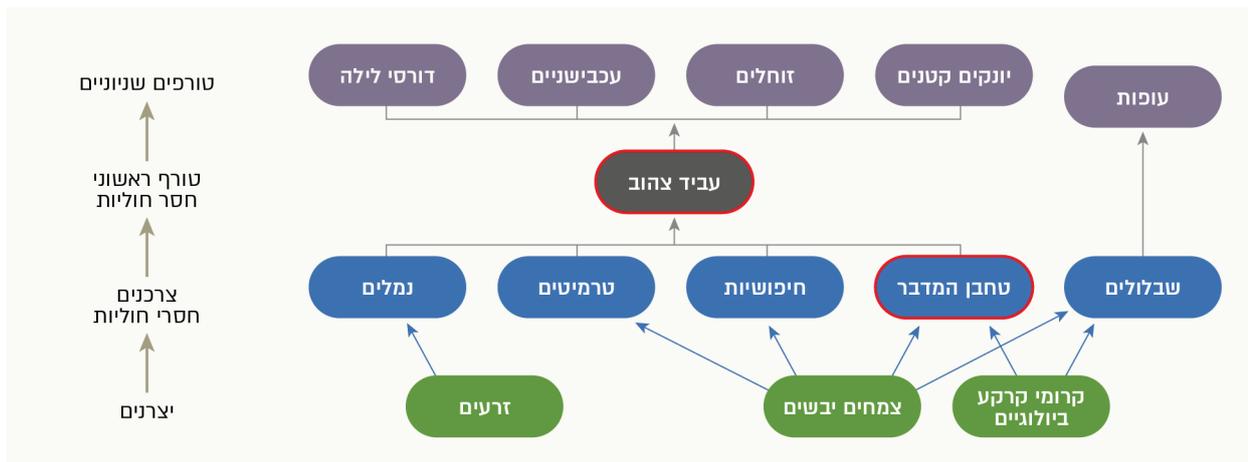
המחקר האמפירי בנגב ממחיש כיצד שינוי האקלים, ובעיקר בצורות וגלי חום, עשוי לשנות באופן עמוק את המבנה והתפקוד של מארג המזון (איור 7, איור 8). מחקרים קודמים קבעו כי לחות הקרקע בקיץ במחילות טחבן המדבר ממלאת תפקיד מרכזי בהישרדות הטחבנים (Shachak, 1980). את היכחדות אוכלוסיית טחבן המדבר ניתן לייחס לירידה בלחות הקרקע בעקבות ירידה בכמות הגשמים ואידי מוגבר במהלך גלי החום (גרנות ואח', 2012). הממצאים מראים כי הכחדת טחבן המדבר, מין מפתח במערכת האקולוגית המדברית, הובילה לשינוי משמעותי באינטראקציות הטרוֹפיות, כולל ירידה באוכלוסיית הטורף עבִיד הצהוב ופלישה של הצרבן הישראלי. במארג המזון החדש השתנה תפקוד המערכת, כי נותק הקשר בין קרומי הקרקע הביולוגיים כמקור מזון לצרכן הראשוני (הטחבן), ובהמשך נותק מסלול זה גם לטורפים במערכת. התהליכים האלה ממחישים כי השפעות שינוי האקלים על שטחים פתוחים אינן מוגבלות לשינויי הצומח בלבד, אלא כוללות שינויים משמעותיים במארגי המזון בשלמותם, שעלולים להוביל לשינויים ואף לקריסת מערכות אקולוגיות קיימות ולהופעת מערכות חדשות עם תפקוד שונה (Zhang et al., 2007).

שינוי האקלים יכול להשפיע על מארג המזון דרך מספר מנגנונים מרכזיים. הכחדת מינים ישירה מתרחשת כאשר מינים רגישים לאקלים אינם מסוגלים לשרוד בסביבה המשתנה (Cahill et al., 2013), מה שמוביל לשיבוש

התבנית המרחבית של מחילות העקרבים משמעות אינדיקטור נוסף לתגובתם לזמינות המזון. פיזור המחילות משקף את אזור השיחור הנגיש לעקרבים. צפיפות מחילות גבוהה מתאימה לזמינות טרף בשפע, בעוד שצפיפות דלילה מסמלת זמינות מזון נמוכה. השונות בצפיפות אוכלוסיית העקרבים במקביל לשינויים משמעותיים באוכלוסיית טחבן המדבר בין 2008 ל-2011 מצביעה על האפשרות של קשר ישיר בין הטורף לטרף: בדיקת המרחקים בין המחילות מלמדת שמהשנה ההידרולוגית 2011/12 (מועד היעלמות הטחבנים) חלה עלייה במרחקים בין המחילות, כלומר הצפיפות הלכה וירדה (איור 5). גם תשע שנים לאחר היכחדות טחבן המדבר (השנה ההידרולוגית 2019/20) נותרה אוכלוסיית העבִידים במישור הלס בצפיפות נמוכה (איור 6).

## תגובת הצרבן הישראלי להיכחדות טחבן המדבר: תצפיות

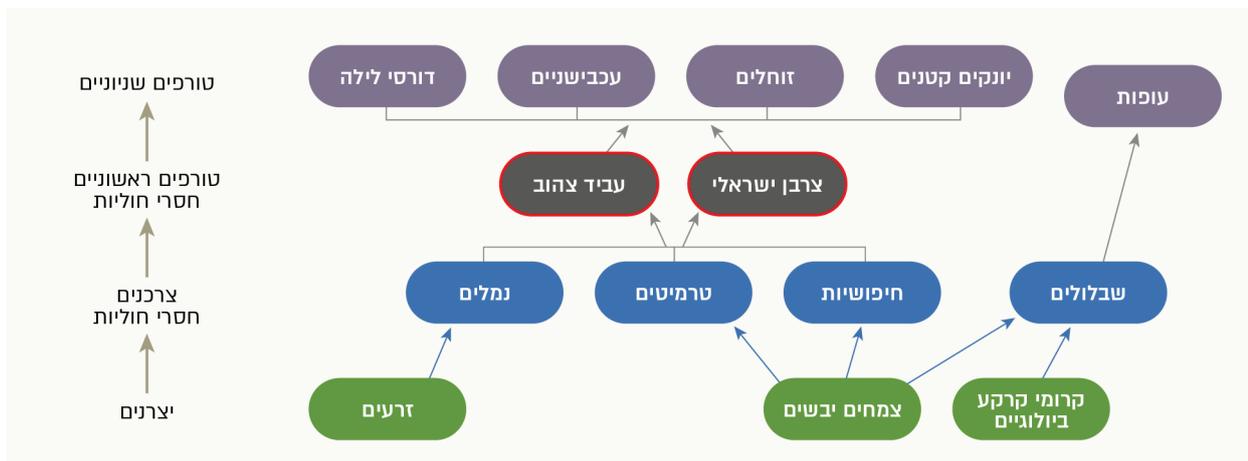
לילות שנערכו לפני ההיכחדות המקומית של אוכלוסיית הטחבנים ואחריה, מצביעות על פלישה של הצרבן הישראלי למישור הלס. ככל הנראה, אוכלוסיית המקור של הצרבן נמצאת בגבעות סלעיות שכנות למישור הלס ("נחל הרועה" באיור 6). הפעילות הלילית של שני מיני העקרבים במישור הלס ובגבעה הסלעית נבדקה בנוכחות הטחבנים בשטח (2008/9) ובלעדיהם (2019/20). נמצא שלפני היכחדות טחבן המדבר, שני מיני העקרבים חיו יחד בסימפטרִיה בגבעות הסלעיות השכנות, אך רק העבִיד הצהוב היה נוכח במישור הלס. בעקבות הירידה באוכלוסיית העבִיד הצהוב במישור הלס פלש הצרבן הישראלי למישור, והפך למין השולט בו.



איור 7

**מארג המזון המרכזי במישור הלס לפני העלייה בתדירות הבצורות**

מארג המזון המרכזי מתבסס על שלושה מקורות של ייצור ראשוני: צמחים יבשים (נשר צומח), קרום קרקע ביולוגי וזרעים. לשני האורגניזמים המסומנים באדום תפקודים מיוחדים. טחבן המדבר משתף במארג המזון צמחים יבשים וקרומי קרקע ביולוגיים, שהם מקורות מזון שנמצאים בשפע גם בשנות בצורת. העביד הצהוב מתפקד כצומת המקשר בין נטרפים חסרי חוליות ובעלי חוליות טורפים. האיור הוכן על סמך תצפיות הכותבים בשטח.



איור 8

**מארג המזון במישור הלס אחרי ההיכחדות המקומית של טחבן המדבר**

מגמות שינוי: א. מעבר האנרגיה ממאגר המזון הזמין "קרומי קרקע ביולוגיים" אל מארג המזון התלוי בעבידים אינו קיים; ב. מקורות המזון לעבידים הצטמצמו; ג. הצרבן הישראלי פלש ומשתתף עם העביד הצהוב כחוליה מקשרת בין הנטרפים חסרי החוליות ובעלי החוליות הטורפים. האיור הוכן על סמך תצפיות הכותבים בשטח.

קודם לכן, או כאשר שינוי בהתנהגותם של מינים קיימים בעקבות שינוי האקלים מביא לשינויים בהרכב ובתפקוד של המערכת ובאופן שאנרגיה ומחזור חומרי הזנה מקיימים אותה (Lurgi et al., 2012). במקרה של הר הנגב, היכחדות אוכלוסיית טחבן המדבר (גרנות ואח', 2012) הובילה לשינוי במארג המזון. לא קיימים נתונים ישירים על זרימת האנרגיה בין הרמות הטרופיות השונות, אך להבנתנו עשויות להיות

בזרימת האנרגיה ובמחזור היסודות (Petchey et al., 1999). הכחדות משניות נגרמות עקב אובדן של מינים המהווים מקור מזון מרכזי, מה שעלול לגרום התמוטטות של אוכלוסיות התלויות בהם, בייחוד כאשר מדובר במיני מפתח הקובעים את יציבות המערכת האקולוגית. מנגנון נוסף הוא חיווט מחדש של מארג המזון (Bartley et al., 2019), כלומר חדירת מינים מקומיים לאזורים שלא היו נוכחים בהם

(Bartley et al., 2019). במקרה של הר הנגב, פלישת הצרבת הישראלית עשויה להוות תהליך של התאוששות חלקית, אך אינה משיבה את המערכת למצבה המקורי, והשאלה נותרת פתוחה ודורשת מחקר נוסף.

ממצאי המחקר האמפירי, בשילוב השיקולים התאורטיים, מדגישים את הצורך להעמיק את חקר השפעות שינוי האקלים על מארגי מזון, ולבחון את הקשרים בין שינויים במארג המזון לבין תפקוד השטחים הפתוחים מבחינת שימור תפקודם, אספקת שירותי המערכת האקולוגית והתאמות ניהוליות. מחקרים עתידיים צריכים להתמקד במספר תחומים מרכזיים: הערכת התפקיד של מינים חלופיים ובחינת יכולתם לפצות באופן תפקודי על אובדן מיני מפתח; ניתוח השפעת שינוי האקלים על רמות טרופיות שונות; בחינת מבנה מארג המזון העכשווי לשם זיהוי ההשפעות האפשריות, הישירות והעקיפות, של שינוי האקלים. בו-בזמן יש לפתח כלים למחקר ולניטור ארוכי טווח של מארגי המזון העכשוויים, שיאפשרו זיהוי נקודות קריטיות לפני שינויים מהותיים במארג המזון בעקבות שינוי האקלים (Cameron et al., 2019). יכולתנו להבין כיצד הכחדת מיני מפתח, שינוי אינטראקציות טרופיות ופלישה של מינים חדשים מעצבים מחדש מערכות אקולוגיות, קריטית לשמירה על שירותי המערכת האקולוגית ולניהול בר-קיימא של שטחים פתוחים בעידן של שינוי האקלים. לסיכום, שינוי האקלים אינו משנה רק את הרכב הצומח או את זמינות המשאבים, אלא גם את המבנה והדינמיקה של מארגי המזון, ויש לו השלכות רחבות על תפקוד שטחים פתוחים וניהולם. הבנת הקשרים בין שינוי האקלים, מארג המזון ותפקוד המערכת האקולוגית היא צעד חשוב להבטחת תפקודם של שטחים פתוחים. מאמר זה מדגיש את הצורך לשלב מחקרים אקולוגיים מבוססי מארגי מזון באסטרטגיות ניהול שטחים פתוחים להתמודדות עם שינוי האקלים.

## תודות

המחברים מודים למר זיו יופה על עזרתו הטכנית הרבה בכתיבת מאמר זה.

מאמר זה מוקדש לזכרו של סול ברנד שהלך מאיתנו בזמן הכנתו, ובהערכה רבה לתרומתו הגדולה.

לכך השלכות נוספות שלא נבדקו, כמו הפחתת זרימת האנרגיה מהצרכנים הראשוניים לטורפים, דבר שכנראה כגע בזרימת האנרגיה לרמות הטרופיות הגבוהות (איור 8).

השפעות שינוי האקלים על מארג המזון מציבות אתגר משמעותי לניהול שטחים פתוחים (Gauthier et al., 2023). שינוי במאזן האנרגיה של המערכת, כמו זה שנצפה בנגב, עשוי לשנות לחלוטין את יחסי הגומלין האקולוגיים ולהשפיע על שירותי המערכת האקולוגית. אחת המשימות המרכזיות בניהול שטחים פתוחים היא זיהוי נקודות חולשה במערכת האקולוגית לפני שינויים משמעותיים מתרחשים במארג המזון. הכחדת מיני מפתח, שינויים בדינמיקה הטרופית, כגיעה בתהליכים אקולוגיים בסיסיים ואובדן יכולת ההתאוששות של המערכת עשויים להיות אינדיקציות לקריסה אפשרית. שינוי האקלים מחמיר את נקודות החולשה הללו על ידי הגברת עוצמתם ותדירותם של גורמי עקה (stress), כמו בצורות, גלי חום, עליית טמפרטורה ושינויים קיצוניים בדפוסי המשקעים.

ניתן לזהות נקודות חולשה באמצעות ניטור שיטתי של שינויים באינטראקציות טרופיות, היעלמות של צמתים מרכזיים במארג המזון וירידה בחוסן של מיני מפתח, כלומר מינים בצמתים מרכזיים של מארג המזון (איור 7 ואיור 8). במקרה שלנו העבד אכן משמש מזון מרכזי בשדה ציון, וכנראה שהצרבת משמש מזון חלופי. לדעתנו השינוי במערכת משמעותי, כי נותק הקשר למקור מזון מרכזי במארג המזון והוא קרומי הקרקע הביולוגיים שעשירים בחומרי הזנה וזמינים בכמות גדולה כל השנה.

מעקב אחר שינויים באוכלוסיות של המינים האלה עשוי להוות אינדיקטור חיוני לזיהוי מוקדם של שינויים אפשריים במארג המזון והשלכותיהם על המערכת האקולוגית. במקרה של הר הנגב, היכחדות אוכלוסיית טחבן המדבר והצמצום החד באוכלוסיית העבד הצהוב שיקפו את הפגיעה בזרימת האנרגיה בין רמות טרופיות שונות, מה שהעיד על שינוי משמעותי במערכת האקולוגית המקומית. באמצעות ניטור מוקדם, חיזוי מגמות עתידיות וניהול מותאם ניתן להפחית את הסיכון לשינוי ואף לקריסת מארג המזון ולהבטיח שמירה על שירותים אקולוגיים חיוניים לאורך זמן. חיווט מחדש של מארגי מזון בעקבות שינוי האקלים מתועד גם באזורים אחרים בעולם, והשאלה המרכזית העולה ממחקרנו היא אם חיווט מחדש של מארג המזון מוביל לשיקום של תפקודי המערכת או להיווצרות מערכת מוחלשת

## מקורות

סקוטלסקי א. 1994. השפעת אור הירח על התנהגות חיפוש מזון, תוך שקלול סיכוני טריפה, בעקרב הישראלי *Buthus occitanus israelis* (עבודה לקבלת תואר מוסמך). באר שבע: אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

גרנות י, ברנד ס ושחק מ. 2012. שינויים בגודל האוכלוסייה של טחבן המדבר כסמן להשפעת שינויים במשטר הגשמים על מערכות אקולוגיות בנגב. *אקולוגיה וסביבה*, 3(2), 186-181.

- Malhi Y, Franklin J, Seddon N, Solan M, Turner MG, Field CB, et al. 2020. Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190104.
- Manlick PJ, Perryman NL, Koltz AM, Cook JA, and Newsome SD. 2024. Climate warming restructures food webs and carbon flow in high-latitude ecosystems. *Nature Climate Change*, 14(2), 184–189.
- Marasekare P. 2015 Effects of temperature on consumer-resource interactions. *Journal of Animal Ecology*, 84, 665–679.
- Ockendon N, Baker DJ, Carr JA, White EC, Almond REA, Amano T, et al. 2014. Mechanisms underpinning climatic impacts on natural populations: Altered species interactions are more important than direct effects. *Global Change Biology*, 20, 2221–2229.
- O'Connor MI, Gilbert B, and Brown CJ. 2011. Theoretical predictions for how temperature affects the dynamics of interacting herbivores and plants. *The American Naturalist*, 178, 626–638.
- Petchey OL, McPhearson PT, Casey TM, and Morin PJ. 1999. Environmental warming alters food-web structure and ecosystem function. *Nature*, 402(6757), 69–72.
- Portner HO and Farrell AP. 2008. Physiology and climate change. *Science*, 322, 690–692.
- Thakur MP. 2020. Climate warming and trophic mismatches in terrestrial ecosystems: The green-brown imbalance hypothesis. *Biology Letters*, 16(2), 20190770.
- Shachak M. 1980. Energy allocation and life history strategy of the desert isopod *H. reaumuri*. *Oecologia*, 45, 404–413.
- Shachak M and Brand S. 1983. The relationship between sit and wait foraging strategy and dispersal in the desert scorpion, *Scorpio maurus palmatus*. *Oecologia*, 60, 371–377.
- Shachak M, Chapman EA, and Steinberger Y. 1976. Feeding, energy flow and soil turnover in the desert isopod, *Hemilepistus reaumuri*. *Oecologia*, 24, 57–69.
- 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.
- Zhang L, Takahashi D, Hartvig M, and Andersen KH. 2017. Food-web dynamics under climate change. *Proceedings of the Royal Society B*, 284, 20171772.
- Adams L. 1951. Confidence limits for the Petersen or Lincoln index used in animal population studies. *The Journal of Wildlife Management*, 15(1), 13–19.
- Bartley TJ, McCann KS, Bieg C, and McMeans BC. 2019. Food web rewiring in a changing world. *Nature Ecology and Evolution*, 3(3), 345–354.
- Binzer A, Guill C, Brose U, and Rall BC. 2012. The dynamics of food chains under climate change and nutrient enrichment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 367, 2935–2944.
- Cahill AE, Aiello-Lammens ME, Fisher-Reid MC, and Wiens JJ. 2013. How does climate change cause extinction? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1750), 1890–2012.
- Cameron EK, Sundqvist MK, Keith SA, CaraDonna PJ, Mousing EA, Nilsson KA, et al. 2019. Uneven global distribution of food web studies under climate change. *Ecosphere*, 10(3), e02645.
- Carnicer J, Coll M, Ninyerola M, Pons X, Sanchez G, and Penuelas J. 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(4), 1474–1478.
- Citron-Pousty S and Shachak M. 1998. Comparative spatial patterns of the terrestrial isopod *Hemilepistus reaumuri* at multiple scales. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 44(3–4), 355–368.
- Dell AI, Pawar S, and Savage VM. 2014. Temperature dependence of trophic interactions are driven by asymmetry of species responses and foraging strategy. *Journal of Animal Ecology*, 83, 70–84.
- Gauthier S, Kuuluvainen T, Macdonald SE, Shorohova E, Shvidenko A, Bélisle AC, et al. 2023. Ecosystem management of the boreal forest in the era of global change. In: Girona MM, Morin H, Gauthier S, and Bergeron Y (Eds). *Boreal Forests in the Face of Climate Change*. Cham: Springer International Publishing. pp. 3–49.
- Levy G and Amitai P. 1980. *Fauna Palaestina. Arachnida I: Scorpiones*. Jerusalem: Israeli Academy of Sciences and Humanities.
- Lurgi M, Lopez BC, and Montoya JM. 2012. Climate change impacts on body size and food web structure on mountain ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1605), 3050–3057.

# ארגז כלים ללימוד ההיסטוריה של עצי זית עתיקים

רועי פורת<sup>1\*</sup> | תאמר מנסור<sup>1</sup> | אלעד בן דור<sup>2,3</sup> | עוז ברזני<sup>2</sup> | איתי מירוז<sup>3</sup> | רונן שטיין<sup>3</sup>  
 אילה נוי-מאיר<sup>4</sup> | מירב מאירי<sup>5</sup> | גלינה פיירשטיין<sup>6</sup> | דפנה לנגוט<sup>7,5</sup> | רביע חמיסה<sup>1</sup>  
 קייט רפאל<sup>1</sup> | אליעזר באומגרטן<sup>1</sup> | רועי שפיר<sup>1</sup> | מיקה אולמן<sup>1</sup> | אליזבטה בוארטו<sup>8</sup>  
 גדעון אבני<sup>1</sup> | גיא בר-עוז<sup>1</sup>

- 1 בית הספר לארכאולוגיה ותרבויות ימיות, אוניברסיטת חיפה
- 2 המכון למדעי הצמח, מרכז המחקר החקלאי-מכון וולקני
- 3 בית הספר למדעי הצמח ואבטחת מזון, אוניברסיטת תל אביב
- 4 משק ריש לקיש, ציפורי
- 5 מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב
- 6 המכון הגיאולוגי לישראל
- 7 המעבדה לארכיאובוטניקה וחקר הסובב הקדום, המכון לארכאולוגיה
- 8 היחידה לארכאולוגיה מדעית, מכון ויצמן למדע
- \* roi.porat@mail.huji.ac.il

## מבוא

סוגיה זו היא חלק ממחקר נרחב ורב-תחומי העוסק בבוסתנים ובעצי מורשת מהיבטים שונים (פרויקט BOSTAN-TREE, למשל: Bar-Oz and Schmidt, 2025) ובתוך כך בפיתוח כלים למחקר 'הארכאולוגיה של העצים' – ענף מחקר צומח הבוחן היסטוריה תרבותית וסביבתית דרך העצים עצמם. למרות מרכזיותו של הזית בנף החקלאי הים תיכוני טרם נערך מחקר היסטורי-ארכאולוגי כולל שיקבע את גילם של עצי זית עתיקים באזור. גזע עץ הזית אינו מייצר טבעות גידול שנתיות באופן קבוע, אלא מתפתח במשך השנים בעזרת צימוח מעגלי נצרים (גרופיות) סביב בסיסו. ברבות השנים הנצרים האלה משתלבים ומשתרגים בתוך היקף הגזע בעוד ליבת הגזע הולכת ומתנוונת. כך העץ הולך ונחלק עם הזמן למספר גזעים, מחוברים או מפוצלים, שלכל אחד מערכת שורשים וענפים משלו. תופעת התפצלות

עצי זית (*Olea europaea*), הנפוצים בכרמים ובבוסתני בעל מסורתיים בנף הכפרי של ארץ ישראל וסביבתה, היוו באופן קבוע ולאורך הדורות מרכיב מרכזי בחקלאות האזור. מאז ראשית ביותו, לפני כ-7,000 שנה, הפך הזית לעץ הפרי הנפוץ ביותר בארצות אגן הים התיכון בכלל, ובמזרח אגן הים התיכון ובארץ ישראל בפרט (דג ואח', 2020; Langgut and Garfinkel, 2022; Barazani et al., 2023). שיטת הגידול המסורתית של הזית בארץ ישראל התבססה לאורך ההיסטוריה על חקלאות בעל בטרסות בגב ההר, בגבעות השפלה ובהרי הגליל. לצד מטעים מהדורות האחרונים, נוף התרבות של הארץ כולל מספר רב של כרמי זית קדומים, ובהם מאות עצי זית עתיקים שגילם מוערך במאות שנים ואולי אף מעבר לאלף שנה. מטרת המאמר היא לבחון שיטות שונות לתארוך עצים באופן כללי, ולקבוע את מידת מהימנותן לקביעת גילם של עצי זית עתיקים.

שגילה כ-1,400 שנים. גילם של שורשי העץ העתיקים ביותר שתוארכו הוא כ-500 שנים. גרגירי אבקה של זית בשכבות הקרקע העתיקות העידו על המשכיות גידול זית בחלקה. במחקר אחר נחפרו עצי זית עתיקים בשרידי חווה רומית במלטה. תארוך שלהם מצא שהעצים העתיקים הם בני מאות שנים בודדות, וכי הקשר ביניהם לתקופה הרומית ולמכלול תנאי הסביבה (terroir) ההיסטורי של החווה אינו ברור מאליו (Lageard et al., 2021). לעומת זאת, במחקר שנערך על מספר עצי זית עתיקים בגת שמנים שבירושלים הציגו החוקרים תוכנית עבודה מפורטת המשלבת דגימות שנלקחו ממרכז בסיס העץ ומשורשי הנצרים ותוארכו בעזרת פחמן 14. התאריכים שהתקבלו שימשו לבניית עקומת גדילה שאפשרה להעריך את גילם, והוצע שהעצים בני לפחות 1,000 שנה (Bernabei, 2015). גרגירי אבקה שנלכדו במקווה באתר גת שמנים מתקופת בית שני מעידים כי כבר לפני קרוב ל-2,000 שנה השתרעו מטעי זיתים בהיקף נרחב בסביבת האתר (Langgut and Kremer, in press).

במקביל למחקרים האלה מצוינים בספרות המקצועית והפופולרית עצי זית עתיקים בכל רחבי אגן התיכון שגילם מוערך באלפי שנים. מתוכם נציין את עץ הזית בכרתים שנטען שהוא בן למעלה מ-3,000 שנה (Bombarely et al., 2021), ועץ במונטנגרו שזכה להכרה שהוא בן למעלה מ-2,000 שנה (Lazović et al., 2016). גילם של כמה עצים בצפון לבנון מוערך בלמעלה מ-1,000 שנה (Camarero et al., 2024). עצי זית עתיקים רבים נמצאים בישראל, למשל בגליל סמוך ליישובים דיר חנא, ראמה, סחנין, שפרעם ומעיליא, וכן במנזר בית ג'מאל ליד בית שמש וסמוך לקיבוץ צובה שבהרי ירושלים (סלע, 2010). ההיסטוריה של העצים האלה טרם נחקרה לעומק, וגילם המשוער נקבע בעיקר על סמך היקף הגזע (איור 1).

### הזית העתיק של ציפורי – אתר המחקר

במטרה לבחון שילוב של מספר שיטות לתארוך וללימוד מאפייני עצי הזית העתיקים בישראל בחרנו למקד תחילה את המחקר בעץ אחד בגליל, שלדעתנו מייצג מגוון גדול של עצי הזית העתיקים. כמו במחקר שנערך על עץ הזית שנחל זיתן שבנגב, ניסינו ללמוד על גילו של העץ תוך שילוב של מספר שיטות. העץ שנבחר למחקר ההיכתנות (פיילוט) גדל בשטחים החקלאיים בגליל התחתון הסמוכים ליישוב הקדום ציפורי. ציפורי הייתה בעבר בירת הגליל, והגיעה לשיאה בתקופה הרומית והביזנטית (המאה הראשונה לפנה"ס עד המאה השביעית לספירה). היישוב הוסיף להתקיים גם במאות הבאות כיישוב חקלאי. החל

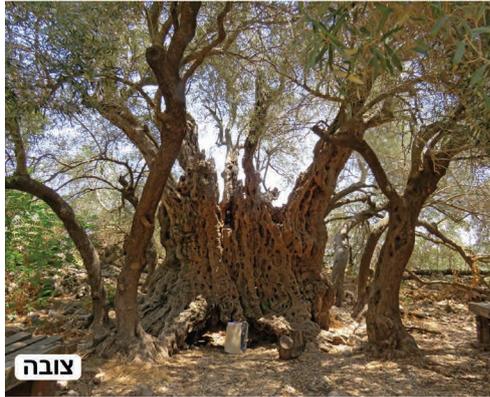
הגזעים, שבעצים עתיקים יכולה ליצור 'מעגלי גזעים' בקוטר של מספר מטרים, מושפעת מהיסטוריית הטיפול בעץ, מזן העץ, מגילו, וכן משרפות המאכלות את מרכזו (סלע, 2010; כסלו, 2021). בשל כל אלה לא ניתן לקבוע במדויק את גיל העץ באמצעים דנדרו-כרונולוגיים (כלומר על סמך ספירת טבעות גדילה שנתיות). מחקרים קודמים הראו שזיתים יכולים לייצר יותר מטבעת אחת בשנה, ולעיתים לא לייצר טבעות כלל, וכי אין קשר חזק ומובהק בין מספר הטבעות לגיל העץ (למשל: Cherubini et al., 2013; Ehrlich et al., 2021). כמו כן, לא ניתן לאמוד באופן מדויק את גילו של העץ על פי היקף הגזע, מאחר שהוא מושפע מתנאי הסביבה ומרצף הטיפול האגרונומי.

עצי הזית העתיקים מהווים קפסולת זמן למורשת החקלאית של הזית ויכולים לשמש ללימוד תהליך התרבות שלהם במהלך ההיסטוריה, ואף לבחון שינויי אקלים שחוו במהלך חייהם. לפיכך, יש חשיבות רבה לאיסוף נתונים מדעיים כדי להכיר את ההיסטוריה של העצים הללו ולבחון את הכלים הקיימים שיאפשרו לקבוע באופן מהימן את גילם ושלבים שונים בהתפתחותם, כמו גם לעמוד על שרידותם לאורך השנים.

### עצי זית עתיקים וניסיונות קודמים לקביעת גילם

חשיבותו של הזית בכלכלה הים תיכונית המסורתית באה לידי ביטוי בעושר של זנים שטופחו באזורנו והשתמרו לאורך הדורות במגוון זנים מקומיים ואנדמיים שעברו טיפוח מכוון (Landrace) ויש להם שורשים עתיקי יומין. שמם הערבי של הזנים מעיד על תכונותיהם הייחודיות ועל מוצאם הגאוגרפי: הזן הסורי (מצור או מסוריה) והזן הנבאלי שמוצאו משכם (נאבלוס – نابلس). בחלק מהמקומות העצים העתיקים מכונים בשם "רומי", כלומר הם עתיקים לפחות מאז התקופה הביזנטית. עם זאת, אפיון גנטי בעזרת שימוש בסמנים גנטיים ייחודיים מציג תמונה אחרת. בחינת השונות הגנטית של עצים עתיקים מהגליל העליון, דרך הכרמל, הרי ירושלים והשפלה ועד להר הנגב, גילתה כי כל זיתי ישראל נחלקים לשני זני מורשת עיקריים: הזן הסורי וזן לא מוכר נוסף, שטרם נחקר מדעית (Barazani et al., 2014, 2023).

ניסיונות שונים לקבוע את גילם של עצים עתיקים שילבו שיטות ארכאולוגיות יחד עם מדדים להערכת קצב הגידול של העץ. באחד מהם נחקר עץ הזית העתיק בוואדי זיתן הסמוך לשבטה. העץ נטוע בחלקות חקלאיות שהוקמו בתקופה הביזנטית, בין המאות הרביעית והשביעית לספירה (Tepper et al., 2022). תארוך הקרקעות שנחפרו מתחת לעץ בשיטת לומינסנציה אופטית גילה שהעץ נטוע בקרקע



איור 1

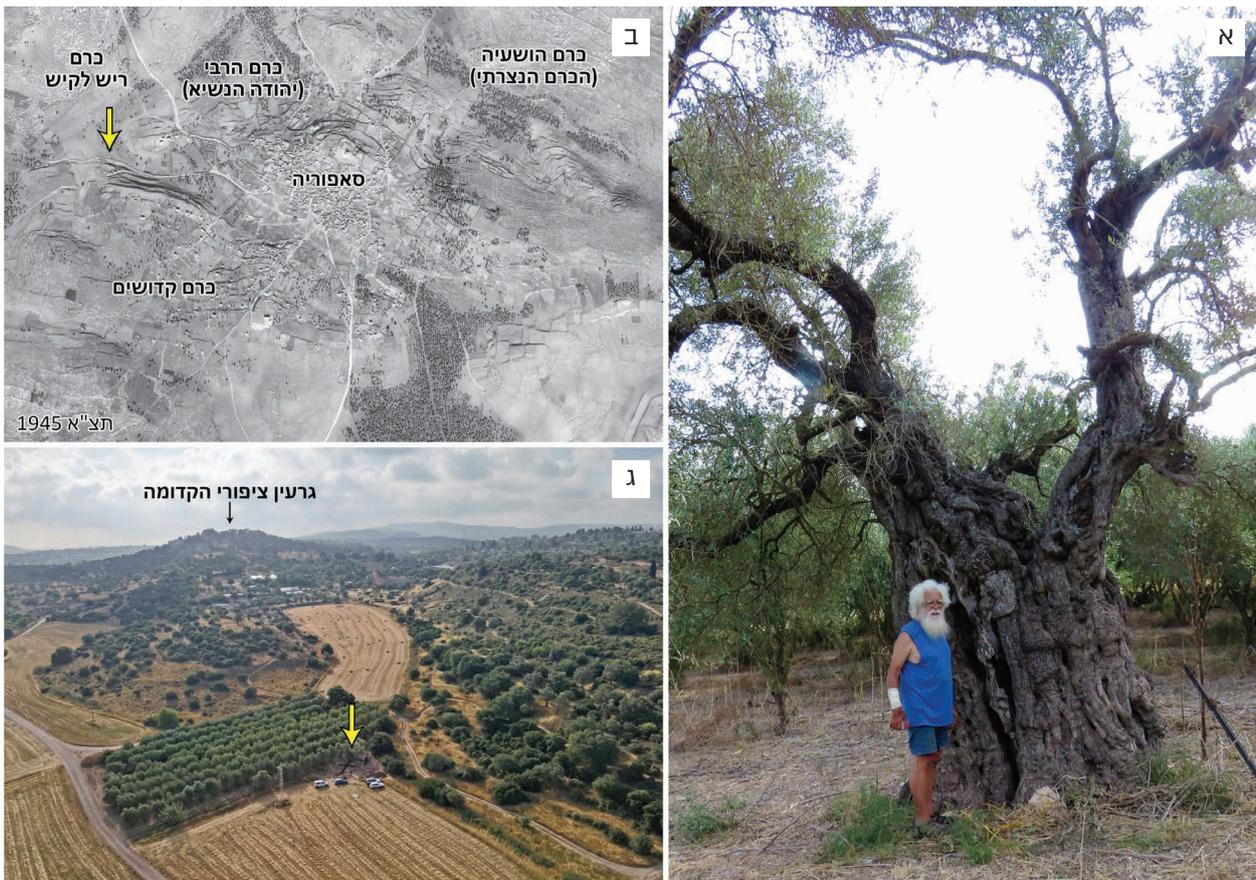
מבחר מעצי הזית העתיקים בישראל  
צילום: רועי פורת.

במחקר היסטורי-גאוגרפי שנערך לאחרונה על אודות תמורות בגידול הזית בארץ ב-600 השנים האחרונות מתקבלת תמונה מפורטת של חקלאות הזית בגליל התחתון, ובכלל זה סביב הכפר סאפוריה בתקופה העות'מאנית ובתקופת המנדט. ניתוח של רישומי מס, מפות היסטוריות ותצלומי אוויר היסטוריים מעיד כי בשנת 1596 היו לכפר 10,998 עצי זית, וב-1877 היו 18,970 עצים. בתקופת המנדט גודלו בתחום ציפורי עצי זית על כ-95% מכלל שטחיה החקלאיים. בשנת 1943 גודלו 32,700 עצים בשטח כולל של 4,900 דונם, ובעלות הכפר היו שישה בתי בד (Raphael et al., submitted).

לימוד ההיסטוריה של גידול הזית סביב ציפורי כלל גם סקר שנערך בידי שניים מהמחברים (ר"פ, ת"מ) בכרמי ציפורי, ובמהלכו מופו באופן שיטתי למעלה מאלף עצי זית עתיקים בכרמים, המתועדים גם במפות המנדטוריות (איור 2, איור 3). המיפוי כלל תיחום של החלקות ההיסטוריות ותיעוד

מהמאה ה-12 היישוב נקרא סאפוריה (ציפור בערבית היא עספור – عسפור), ונחשב לאחד החשובים בממלכה הצלבנית. הנוף החקלאי שמר על מסורת גידול הזיתים גם בתקופה העות'מאנית ובתקופת המנדט (Raphael et al., submitted).

המחקר הארכאולוגי המקיף שנערך בתחום ציפורי, כלל חפירה מקיפה של היישוב וסקרים בסביבתו. מהמחקר עלה שענף גידול הזית וייצור השמן היה ממקורות הפרנסה העיקריים של היישוב לאורך ההיסטוריה, ובעיקר באלפיים השנים האחרונות, ומוכרים במרחב מספר בתי בד עתיקים (Frankel et al., 1994). החלקות החקלאיות הנרחבות של סאפוריה השתרעו על שטח של למעלה מ-5,200 דונם, מנחל ציפורי ומעיינותיו בדרום ועד מבואות בקעת בית נטופה בצפון ועמקי הנחלים ומדרונות הגבעות במערב ובמזרח. בעמקים הפוריים גודלו ירקות ומטעים, ובמדרונות הגבעות ניטעו בוסתני בעל וכרמי זיתים.

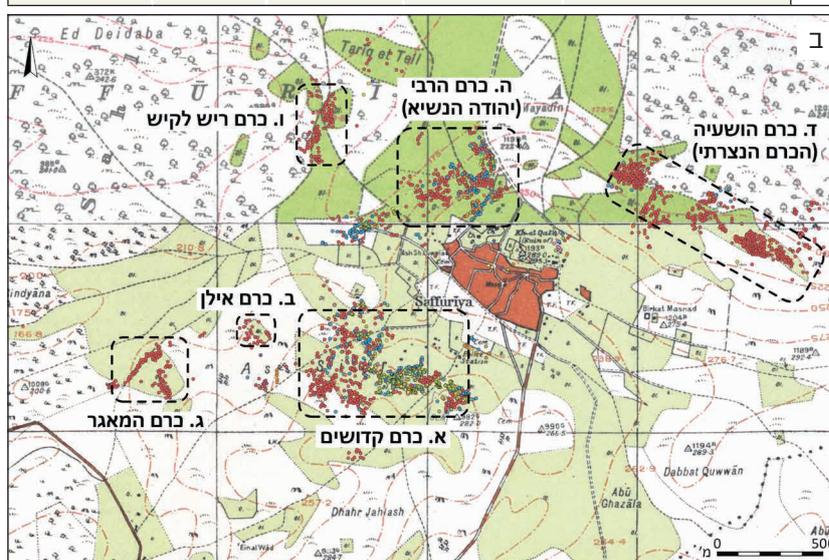


איור 2

**כרמי הזית סביב ציפורי, והזית העתיק שנבחר למחקר**

א. עץ הזית העתיק שנחקר; ב. תצלום אוויר משנת 1945; ג. תצלום אוויר אלכסוני עכשווי. החץ הצהוב בצילומים ב' ו-ג' מציין את מקום העץ ששרד. צילום: א – רועי פורת; ב – באדיבות 'המרכז למיפוי ישראל'; ג – טל רוגובסקי.

א	שם כרם	שטח החלקות שנסרקו (דונם)	מספר עצי זית עתיקים ששרדו	היקף גזע ממוצע (ס"מ)	אחוז הזיתים ביחס לשאר עצי פרי
	א. כרם קדושים	389	409	238	46%
	ב. כרם אילן	27	23	266	100%
	ג. כרם המאגר	73	96	240	100%
	ד. כרם הושעיה (הכרם הנצרותי)	214	470	208	99%
	ה. כרם הרבי (יהודה הנשיא)	195	205	289	63%
	ו. כרם ריש לקיש	70	96	225	100%
	סך הכל/ממוצע	968	1299	235	



איור 3

**תפוצת עצי זית עתיקים בכרמים המסורתיים של ציפורי, ומדדים שונים**

א. טבלת נתוני עצי זית שתועדו בכרמי ציפורי; ב. סימון כרמי הזית ועצים על מפת רישום אדמות מנדטורית. הנקודות האדומות מציינות עצי זית. מיני עצי פרי אחרים מסומנים בצבעים אחרים.

בכרמים המסורתיים באזור הם מזן סורי (Barazani et al., 2014).

עץ הזית שנבחר למחקר הפיילוט הוא עץ עתיק ומרשים בציפורי (היקף גזע 6 מטר, קוטר נוף 11 מטר, גובה 8 מטר), היחיד שנותר מכרם מסורתי שתועד בתקופת המנדט בתחום החקלאי של הכפר סאפוריה, ומטופל בשנים האחרונות בידי חוות ריש לקיש (נ"צ: 225400/739930; איור 2). העץ נטוע בקרקע רנדזינה חומה למרגלות גבעות נארי-קירטון, וגזעו בנוי משלוש אונות מרכזיות. הטיפול בעץ במהלך הדורות מנע את התפצלות הגזע, והוא נשמר ללא חלל פנימי נראה לעין.

**שיטות וחומרים**

במסגרת המחקר הנוכחי נחפרו שמונה חתכים צרים ועמוקים סביב הגזע ובתחום בית השורשים (I-VIII), לרבות

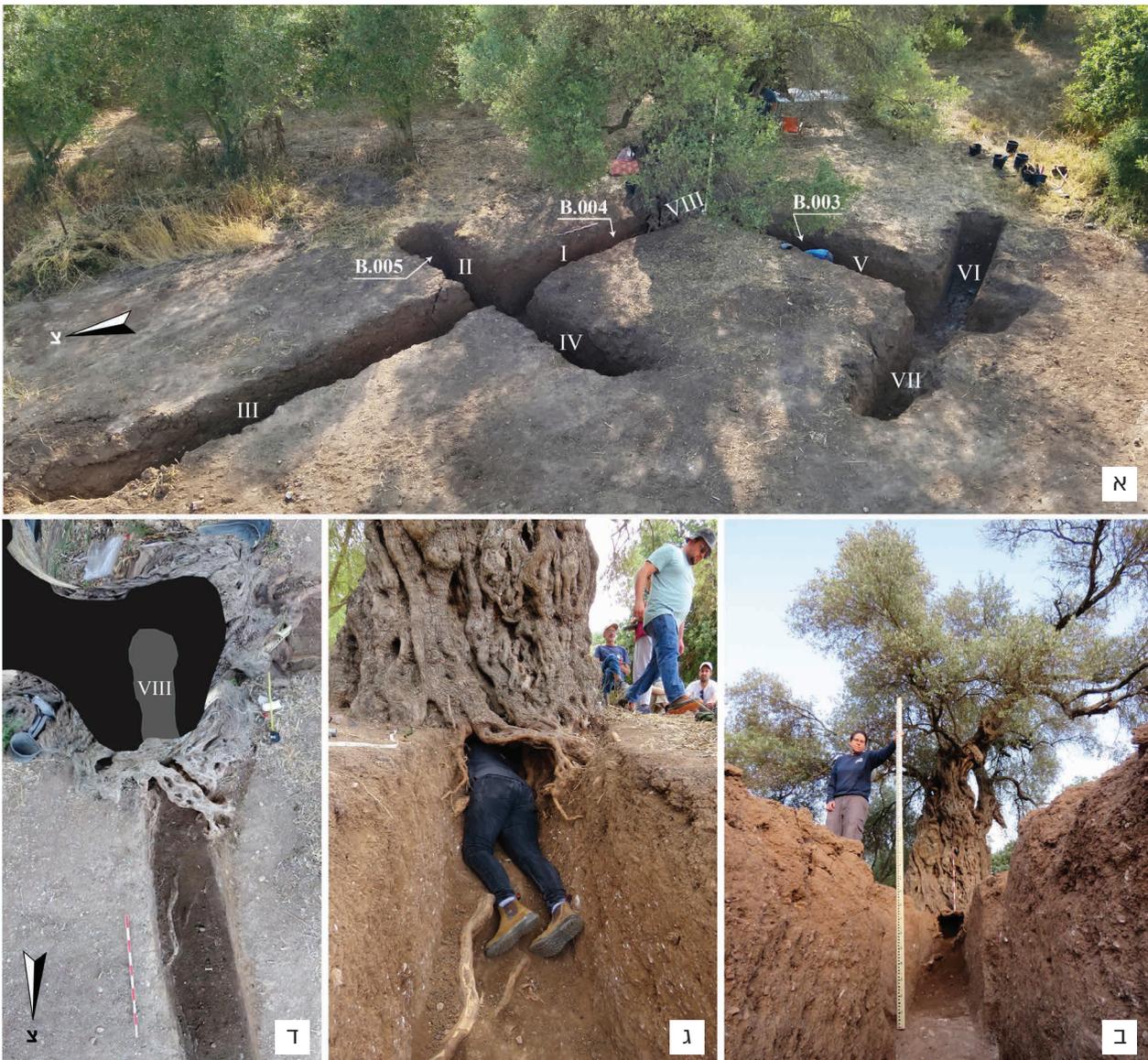
פרטני של כל עץ, לרבות גובהו והיקף הגזע, וכן מאפייני החלקה, כגון צפיפות העצים, טרסות ומתקנים בחלקה וסמיכות למקור מים ולדרך. כרמי הזית המסורתיים בציפורי מתאפיינים בעצים מפותחים עם מרווחי שתילה גדולים (כ-10–12 עצים לדונם) וללא הקפדה על שורות. ניכר כי העצים בחלקות שבעמקים טופלו במהלך השנים, אולם חלק מהחלקות שעל מדרונות הגבעות נזנחו וכוסו בחורש טבעי. יש לציין כי מחקר שנערך בספרד הראה כי מבנה מרחבי דומה מעיד על החלפת החורש הים תיכוני והפיכתו לכרם זיתים באמצעות הרכבה על גבי זיתי בר (Diez et al., 2011).

כרמי הזיתים העתיקים של ציפורי שרדו בעיקר בשישה מרחבים היסטוריים: 'כרם הרבי', 'כרם הושעיה', 'כרם ריש לקיש', 'כרם קדושים', 'כרם אילן' ו'כרם המאגר' (איור 3). בחלק מהאזורים ניטעו כרמי זיתים בלבד, ובאחרים נמצאו בוסתני בעל, ובהם הזיתים מעורבים במגוון עצי פרי, בעיקר שקדים ורימונים. תוצאות סקר גנטי מלמדות כי רוב זני הזית

לקבוע את גיל הקרקע שהעץ נטוע בה בשיטת הלומינסנציה האופטית (Optically Stimulated Luminescence – OSL) נאספו דוגמאות משכבות קרקע בחתכים. מאותן השכבות נלקחו דוגמאות לניתוח פלינולוגי במטרה לזהות גרגירי אבקה של זית בשכבות המתוארכות וכדי לזהות מיני צמחים נוספים שגדלו סמוך לכרם הקדום. נאספו גם מגוון דיגמות מהגזע, מהשורשים ומליבת העץ, לצורך תארוך בשיטת פחמן 14, כדי ללמוד על הכרונולוגיה של התפתחות העץ ועל גילו. במהלך החפירה נאספו שרידים ארכאולוגיים, דוגמת שברי כלי חרס, שיסייעו בשחזור תהליכי הצטברות

חתך ביקורת מחוץ לו, כדי לבחון את פרופיל הקרקע, להיחשף לשורשים עמוקים ולחקור את מרכז הגזע. החתכים תועדו בשרטוט, בצילום ובפוטוגרמטריה, ולאחר מכן כוסו מחדש, דושנו והושקו למניעת פגיעה בעץ (איור 4).

כחלק מפיתוח הכלים למחקר 'הארכאולוגיה של העצים' שהוזכר, גיבשנו במהלך הפיילוט בציפורי קבוצת מחקר שכללה מומחים מתחומים שונים, ויחד התכנסנו לאסוף דוגמאות מחתכי החפירה ומהעץ (איור 5). הנחנו שלפי גיל הקרקע שהעץ ניטע בה ניתן להעריך את גילו המרבי. כדי



איור 4

**חתכי החפירה לצד העץ**

א. החתכים ממוספרים בצילום אוויר אלכסוניים; ב. מבט דרך חתכים VIII-I-III; ג. כניסה לדגימת חתך VIII במרכז בית השורשים; ד. מיקום חתך VIII על מודל פוטוגרמטרי. צילום: א, ד – טל רוגובסקי; ב, ג – רועי פורת.

והקרקה. כמו כן, כלל צוות המחקר היסטוריונים שלמדו את ההיסטוריה הכלכלית והגאוגרפית של גידול הזית בגליל התחתון במאות השנים האחרונות.

והקרקה. כמו כן, כלל צוות המחקר היסטוריונים שלמדו את ההיסטוריה הכלכלית והגאוגרפית של גידול הזית בגליל התחתון במאות השנים האחרונות.

במקביל נדגמו כ-30 עצי זית עתיקים נוספים בציפורי לאפיין גנטי ומורפולוגי, שנבחנו בסמנים מיקרוסטלטיים ובאפיין מורפומטרי של גלעינים במטרה לאפיין את זהות הזן של כל אחד מהם (בן דור ואח', 2024). באנליזה ראשונית של חלק מהסמנים הגנטיים מתקבל הרושם כי מרבית העצים העתיקים בציפורי שייכים לזן סורי (כולל העץ שנבחר כפיילוט), למעט שלושה עצים שסווגו כקרובים יותר לזן מורשת לא ידוע, המוכר כעץ נושא פרי בכמה כרמי זיתים בגליל ובהר הנגב (Barazani et al., 2014).

קבוצת המחקר כללה גם גנטיקאים שאספו דגימות מחלקים שונים של העץ במטרה להעריך את גילו באמצעות שיעון מולקולרי, המבוסס על קצב הופעת מוטציות ניטרליות בתאים בין אזורים שונים בעץ (Ally et al., 2008). בתוך כך נאספו דגימות נצרים מבסיס הגזע (לזיהוי הפנה), ממרכז בית השורשים וכן מקצות הענפים והשורשים. באופן עקרוני, ככל שיש בין שני תאים בעץ הבדלים גנטיים רבים יותר – ניתן להסיק שהם התפצלו לפני זמן רב יותר. אם קצב הופעת המוטציות ליחידת זמן ידוע, ניתן לחשב את זמן הפיצול בין שני תאים בעץ על פי מספר המוטציות ביניהם (קצב מוטציה ליחידת זמן). אנו מתכננים לחשב בשלב הראשון את קצב המוטציות באמצעות קידוחי ליבה מתוארכים בפחמן 14 וריצוף DNA. בשלב השני יושוו רצפים גנטיים מענפים

התוצאות שיתקבלו בעתיד ממגוון המחקרים הללו יאפשרו לבחון את תהליכי יצירת הקרקע, לקבוע את גיל העץ שנבחר כפיילוט ושלבם בהתפתחותו, לזהות את זני הזית ולשחזר



**איור 5**  
**מבחר דגימות שנלקחו מחתכי החפירה ומגזע העץ**  
 א. דגימה ל-OSL; ב. הוצאת ליבה מהטע לבדיקת פחמן 14 משולב דנדרו-כרונולוגיה; ג. סימון רצף הדגימות שנאספו בחתך III ל-OSL ולאבקה; ד. דגימה בחתך III. צילום: רועי פורת.

החשוב ביותר בגליל העליון המערבי בתקופה הצלבנית בחלק ניכר מהמאות ה-12 וה-13 לספירה, והמקום מתועד היטב מבחינה היסטורית וארכאולוגית. אחת מהחלקות של עצי הזית העתיקים הגדולים נושאת את השם "בורנאד". היא זוהתה עם "בירנרד", תושב פרנקי של העיירה מעיליא המוזכר כמוכר נכסים למסדר הטבטוני בשנים 1220-1229 (Khamisy, 2013). מחקר בחלקה זו עשוי לסייע לאמת את גילם של העצים ולהוות עוגן כרונולוגי חשוב נוסף להכרת ההיסטוריה של גידול הזית בישראל.

אנו מעריכים כי המחקרים הממוקדים הללו, המשלבים מגוון תחומי מחקר, יכולים להוביל לפריצת דרך שתאפשר לקבוע בצורה מהימנה את גילם של עצי הזית עתיקים בישראל, כמו גם באזורים רבים אחרים באגן הים התיכון. אנו מצפים שמחקר עצי הזית העתיקים בישראל יתווה את הדרך למחקרים דומים של עצי זית עתיקים בסביבות הגידול שלהם באזורים שונים באגן הים התיכון – לבנון, יוון, איטליה, דרום צרפת, ספרד ומרוקו. מחקרים כאלה ייצרו את הבסיס לשחזור מהימן של התפתחות ענף הזית כענף מרכזי בכלכלה הים תיכונית במהלך אלפיים השנים האחרונות, ויאפשרו מעקב אחרי תהליכי ההתעצמות והדעיכה של תרבות גידול הזית לאורך ההיסטוריה. תרבות גידול הזית, המהווה חלק משמעותי באוצרות הטבע של ישראל, היא גם חוט מקשר מוחשי בין התרבויות השונות שהתקיימו בארץ, לענף גידול הזית בהווה.

את ההיסטוריה החקלאית והסביבתית של האתר. כל אלה יתרמו לגיבוש המחקר הרחב העוסק בעצי מורשת. נתאר כעת בקצרה את התוצאות הראשונות שהתקבלו במהלך החפירה עצמה.

## תוצאות ראשונות מהחפירה

הקרקע שנחשפה בחתכים סביב גזע העץ היא קרקע עמק חומה, אחידה למראה וללא שיכוב ברור. בעומק 50-60 ס"מ זוהה אופק עם תרכיזי קרבונט לבנים, שנוצר מתהליכים פדולוגיים ומחדירת מים. בבסיס החתכים נחשף סלע נארי אופקי ועליו הקרקע החומה; בחלק מהחתכים (I, II) נצפתה שכבה של אבני נארי קטנות מפולסת על גבי הסלע. לאורך ולעומק של כל החתכים נמצאו שברי חרס רבים, בעיקר מהתקופות הרומית והביזנטית, וככל הנראה מקורם בחומרי זיבול שהובאו מאתר ציפורי לשדות הכפר. בחלק העליון של חתך III נמצא שבר מקטרת עות'מאנית (סוף המאה ה-17 או תחילת המאה ה-18). בראש חתך VIII נחשפו חללים שהתפתחו בתוך הגזע. בתוכם נמצאו פחמים רבים המעידים על שרפות של ליבת העץ וחומרי קינן של מכרסמים; בבסיסו נמשכו שורשים בתוך הקרקע החומה (איור 4).

## סיכום והתוויית הדרך להמשך המחקר

המחקר שנערך בעץ הזית העתיק בציפורי הוא הראשון מסוגו בעולם המשלב חוקרים מתחומי הארכאולוגיה, הגאולוגיה והביולוגיה המולקולרית לצורך קביעת גילם של עצי זית עתיקים וההיסטוריה שלהם והאפיין הגנטי של העץ למרכיביו. העיבוד והניתוח של הנתונים ימשך עוד זמן, אולם נראה לנו שכבר בשלב הזה ניתן לאפיין את ארגז הכלים המחקרי שישמש אותנו לחפירת עצי זית עתיקים בכרמי מורשת נוספים בישראל, ובכלל זה בגליל העליון, בהרי ירושלים, בשפלת יהודה, בדרום מישור החוף ובהר הנגב.

חקר מקרה ייחודי, שאנו עתידים לעסוק בו בהמשך המחקר, הוא מעיליא שבגליל המערבי, שם התפתח המרכז המנהלי

## תודות

פרויקט זה נעשה בתמיכת הקרן האירופית למחקר ERC Advanced (מענק מספר 101096539). ברצוננו להודות לטל רוגובסקי על צילומי האוויר; ליעל יעקובי על סיוע במחקר ה-OSL; לשרון זוכוביצקי, ענבר פרידמן ואליאור שועה חיים על הסיוע בדגימות ובהפקת דגימות האבקה; למיכה ורחל נוי-מאיר מציפורי על האכסניה, הסיוע והמידע; לעלי אבו-שחאדה ממשק ריש לקיש על המידע והסיוע; לשירי ברנהרדט על העזרה בניהול; לספיר עד על העיצוב הגרפי של האיוורים.

## מקורות

דג א, ברזני ע ועמר ז. 2020. ההיסטוריה של גידול זיתים בישראל. יער, 19, 62-73. כסלו מ. 2021. זיתים לתפארת – על זיתים קשישים וניסיון לאמידת גילם. **כלנית**, 8. סלע י. 2010. **זיתים בני אלפיים? סיכום תצפיות שדה**. מסמך פנימי.

בן דור א, דג א, פרלברג א, לב-רמתי ד, בן דור י, גלילי א ואח'. 2024. עדויות גנטיות ראשונות לקיומן של אוכלוסיות זיתי בר בישראל וחשיבות שימור המגוון הגנטי שלהן. **אקולוגיה וסביבה**, 15(4).

- Frankel R, Avitsur S, and Ayalon E (Eds). 1994. *History and Technology of Olive Oil in the Holy Land*. Arlington, VA / Tel Aviv, Olerius Editions / Eretz Israel Museum.
- Khamisy RG. 2013. The history and architectural design of Castellum Regis and some other finds in the village of Mi'ilya. *Crusades*, 12, 13–51.
- Lageard JGA, Sultana D, and Brearley FQ. 2021. Veteran trees in an historic landscape: The Bidnija olive grove, Malta. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 38, 103094.
- Langgut D and Garfinkel G. 2022. 7000-year-old evidence of fruit tree cultivation in the Jordan Valley, Israel. *Scientific Reports*, 12, 7463.
- Langgut D and Kremer E. in press. Palynological Investigation performed at Gat Shmanim (Jerusalem). In: Re'em A (Ed). *Gat Shmanim Excavation*. Jerusalem: The Franciscan School of the Holy Land.
- Lazović B, Adakalić M, Pucci C, Perović T, Bandelj D, Belaj A, et al. 2016. Characterizing ancient and local olive germplasm from Montenegro. *Scientia Horticulturae*, 209, 117–123.
- Raphael K, Avni G, Wachtel I, Porat R, Mansour T, Barazani O, et al. submitted to *Journal of the Royal Asiatic Society*. The cultivation of olive trees and the olive oil industry in Palestine from the late Mamluk period to the end of British mandate, trends of growth and decline.
- Tepper Y, Porat N, Langgut D, Barazani O, Bajpai PK, Dag A, et al. 2022. Relict olive trees at runoff agriculture remains in Wadi Zetan, Negev Desert, Israel. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 41, 103302.
- Ally D, Ritland K, and Otto SP. 2008. Can clone size serve as a proxy for clone age? An exploration using microsatellite divergence in *Populus tremuloides*. *Molecular Ecology*, 17(22), 4897–4911.
- Bar-Oz G and Schmidt J. 2025. Why study the archeo-histories of dryland landraces now? *Trends in Plant Science*, 30, 724–735.
- Barazani O, Westberg E, Hanin N, Dag A, Kerem Z, Tugendhaft Y, et al. 2014. A comparative analysis of genetic variation in rootstocks and scions of old olive trees – a window into the history of olive cultivation practices and past genetic variation. *BMC Plant Biology*, 14, 146.
- Barazani O, Dag A, and Dunseth Z. 2023. The history of olive cultivation in the southern Levant. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1131557.
- Bernabei M. 2015. The age of the olive trees in the Garden of Gethsemane. *Journal of Archaeological Science*, 53, 43–48.
- Bombarely A, Doulis AG, Lambrou KK, Zioutis C, Margaritis E, and Koubouris G. 2021. Elucidation of the origin of the monumental olive tree of vouves in Crete, Greece. *Plants*, 10(11), 2374.
- Camarero JJ, Touchan R, Valeriano C, Bashour I, and Stephan J. 2024. Dating the Noah trees to improve age estimates in centennial and millennial olive trees. *Dendrochronologia*, 84, 126181.
- Cherubini P, Humbel T, Beeckman H, Gärtner H, Mannes D, Pearson C, et al. 2013. Olive tree-ring problematic dating: A comparative analysis on Santorini (Greece). *PLoS ONE*, 8, e54730.
- Díez CM, Trujillo I, Barrio E, Belaj A, Barranco D, and Rallo L. 2011. Centennial olive trees as a reservoir of genetic diversity. *Annals of Botany*, 108, 797–807.
- Ehrlich Y, Regev L, and Boaretto E. 2021. Discovery of annual growth in a modern olive branch based on carbon isotopes and implications for the Bronze Age volcanic eruption of Santorini. *Scientific Reports*, 11, 704.



# סקר הידרוביולוגי במעיינות הרי יהודה בשנת 2023

אריאל כהן\* | אלדד אלרון | לביא קורן | דינה פיימן

אגף סביבה, חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים  
arielc@npa.org.il \*

## הקדמה

פוטנציאל חידור המים לאקוות מוערך בכ-45%–5 מכמות המשקעים השנתית, כתלות בכמות המשקעים ובתשתית המזינה את המעיינות (בורג, 1998; פלג, 2009; כהן, 2010; גבירצמן, 2019).

רצף שנים שחונות מקטין את כמות המים האגורה באקווה, ועשוי לגרום להתייבשותה. תגובות המעיינות לגשם מהירות ומתבטאות בשפיעות גבוהות יחסית בחורף ובאביב, ובשפיעות נמוכות בקיץ ובסתיו.

מעיינות הרי יהודה שימשו את האדם לאורך ההיסטוריה כמקור מים עיקרי לצורכי התיישבות וחקלאות. סביב המעיינות נחצבו נקבות ותעלות, נבנו בריכות איגום, ופותחו מערכות שלחין (רון, 1977; פורת, 1988). בהרי יהודה חלו בעשורים האחרונים שינויים רבים בפני השטח עקב פעילות האדם. יישובים הורחבו, מתחמי תעשייה נבנו, שטחים חקלאיים הוכשרו, וכן הוקמו תשתיות מים ואנרגיה שגרמו לפגיעה פיזית במעיינות ובאזורי ההזנה שלהם. נוסף על כך, למזהמים באזורי ההזנה של המעיינות יש פוטנציאל לחלול לתת-הקרקע שיפגע באיכות המים.

מעיינות הם בתי גידול לחים שהמים נובעים בהם מתת-הקרקע אל פני השטח. מי הנביעות שומרים לרוב על יציבות בהרכבם ובאיכותם הטובה. המעיינות משמשים בתי גידול חשובים בסביבה יובשנית כמו ישראל. הם משמרים מגוון ביולוגי חשוב, הכולל מיני צמחים שמאכלסים בתי גידול לחים, וחסרי חוליות אקוויטיים מקבוצות טקסונומיות שונות. כמו כן, הם משמשים אתר רבייה ומחיה למיני דו-חיים ומקור שתייה חשוב לבעלי חיים יבשתיים ולבעלי כנף (אלרון וכהן, 2020).

במרחב הרי יהודה נובעים כ-90 מעיינות, וזהו ריכוז גבוה יחסית של מעיינות בישראל (כהן ופיימן, 2011). האזור מאופיין באקלים ים תיכוני. החורף קריר וגשום, הקיץ חם ויבש, כמות המשקעים הרב-שנתית הממוצעת נעה בטווח 500–620 מ"מ בשנה היורדים בכ-30–40 ימי גשם. שפיעת המעיינות באזור נמוכה, ובהתאם לכך, הם מקיימים בתי גידול מקומיים ומצומצמים בגודלם. רוב המעיינות בהרי יהודה הם מעיינות הנובעים משכבות אקווה, ונשענים בעיקר על תצורות אטימות המכילות תשתית חוואר.

## סקר המעינות ומטרותיו

ובצילומים, כולל מדידות גופי המים שבו. מדידת השפיעה במעינות (מ"ק לשעה) בוצעה במד זרם או באמצעות מילוי מכל.

### דגימת איכות המים

דוגמת מים למדידות איכות כימית נלקחה בכל מעיין שנמצאו בו מים, קרוב ככל שניתן למקור הנביעה. המדדים הנבדקים כללו יונים ראשיים (Major ions), לצד נוטריינטים (פחמן אורגני כללי וחנקן כללי). כמו כן, נמדדו ריכוזי מיקרו-מזהמים לבחינת השפעה אנתרופוגנית ונכחות זיהום שפכים: קרבמזפין, קפאין ווולפסקין. בשטח נמדדו טמפרטורת המים, מוליכות חשמלית ועכירות.

### דגימה הידרוביולוגית

בכל מעיין נאספה דגימה של חברת חסרי החוליות הגדולים (חח"ג) וראשני דו-חיים באמצעות רשת פלנקטון. הדגימה הייתה אינטגרטיבית ומייצגת, וכללה את בתי הגידול השונים במעיין. בכל מעיין אוחדו בעלי החיים שנדגמו בבתי הגידול בו לאסופה אחת, המייצגת אותו ומשקפת תמונת מצב רגעית. בשטח נעשה זיהוי ראשוני לחסרי החוליות. הם חולקו לקטגוריות לפי השפע היחסי שלהם. ממצאי חסרי החוליות האקוטיים כוללים רק פרטים שאותרו במים. לכן, למשל, מיני שפיראים בוגרים לא נכללו בתוצאות. חסרי החוליות בכל דגימה שומרו והועברו למעבדה לזיהוי פרטני ולהגדרה במטרה ליצור רשימת עושר מינים.

### דגימה בוטנית

הסקר בוצע באביב – עונת הפריחה של רוב מיני הצומח

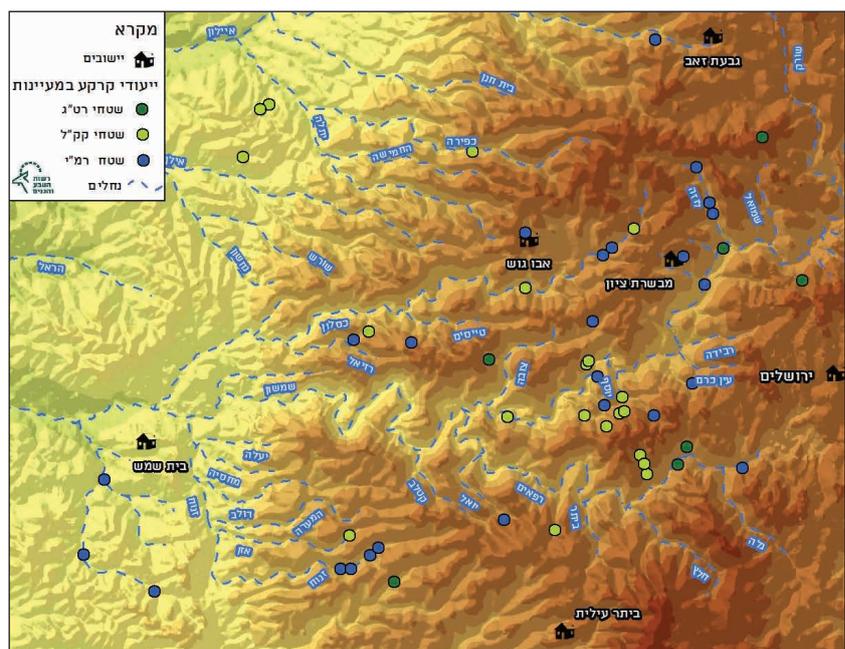
הסקר המעינות נערך במרחב התחום בירושלים במזרח, בעמק הארזים ובמעלה הנחלים כיסלון וכפירה בצפון, במגע עם שפלת יהודה במערב ובנחל סנסן בדרום (איור 1).

הסקר נערך במטרה למפות, לתעד ולספק תמונת מצב אקולוגית של 53 מעיינות בהרי יהודה. באזורי ההזנה של המעינות ישנם מזהמים פוטנציאליים. ההרכב הכימי של המים עשוי לסייע בהבנת הקשר בין הנעשה בפני השטח למי התהום. הסקר נערך בחודשים אפריל, מאי ויוני 2023, וכל מעיין נסקר פעם אחת. הסקר נערך לאחר שני חורפים גשומים מהממוצע, שהשפיעו באופן חיובי על השפיעה המעינות.

מתוך 53 המעינות שנסקרו, שבעה מעיינות נובעים בשטחי רשות הטבע והגנים, 20 מעיינות נובעים בשטחי קק"ל, והיתר נובעים בשטחים פתוחים, בשטחי רמ"י או בתחומי יישובים.

ב-40 מעיינות בוצע שקלול ערכיות אקולוגית, הכולל ממצאים הידרוביולוגיים, ממצאים בוטניים, הערכה של איכות המים, שפיעות שנמדדו בנביעות, ומידת ההפרה בנביעות ובסביבה הקרובה של המעינות, והוא מאפשר הערכה אינטגרטיבית של מצבם האקולוגי של המעינות.

הסקר הקודם נערך בשנת 2011. הסקר הנוכחי כלל לראשונה דגימות וניתוחים הידרוביולוגיים ובוטניים. הסקר כלל גם בדיקות של שאריות תרופות במעינות נבחרים כאינדיקטור לנוכחות שפכים. כל מעיין נסקר תועד במלל



**איור 1**  
מפת אזור הסקר  
מקור: חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים.

רוב המעיינות שנסקרו ושנמדדו בהם השפיעות הגבוהות ביותר (מ"ק לשעה) מתוירים ומוסדרים. העקומה באיור 2 מייצגת סכימה מצטברת של השפיעה הכוללת (באחוזים). בעשרת המעיינות בעלי השפיעות הגבוהות ביותר נמדדו כ-85% מנפח השפיעות בכלל המעיינות שנסקרו.

בבתי הגידול הלחים. בכל מעיין בוצעה סקירה, ונרשמו כלל מיני הצמחים בסביבתו תוך התמקדות בגדות גוף המים ובאזורים הלחים.

## תוצאות הסקר ההידרולוגי

### שפיעות המעיינות

שפיעת המעיינות שנסקרו מאופיינת בשונות רבה, גם כאשר המרחק הגאוגרפי ביניהם קטן. גודל אזור ההזנה של כל מעיין, מאפייני הנתיב הקרסטי המוביל אליו ומוצאו שונים, ולכן ישנם מעיינות הנובעים במשך כל השנה, ואחרים המתייבשים במהירות. לפיזור ולעוצמה של הגשם במהלך החורף יש השפעה גדולה.

מבין 53 המעיינות שנסקרו, ב-34 נמדדה שפיעה. בשלושה מעיינות לא היה ניתן למדוד שפיעה, אף על פי שהמים זרמו. ב-11 מעיינות המים עמדו או שטפטפו או זרימת המים מתוך סדקים לא אפשרו מדידת שפיעה. חמישה מעיינות היו יבשים או שזרימת המים בהם הייתה חלשה ולא אפשרה מדידה.

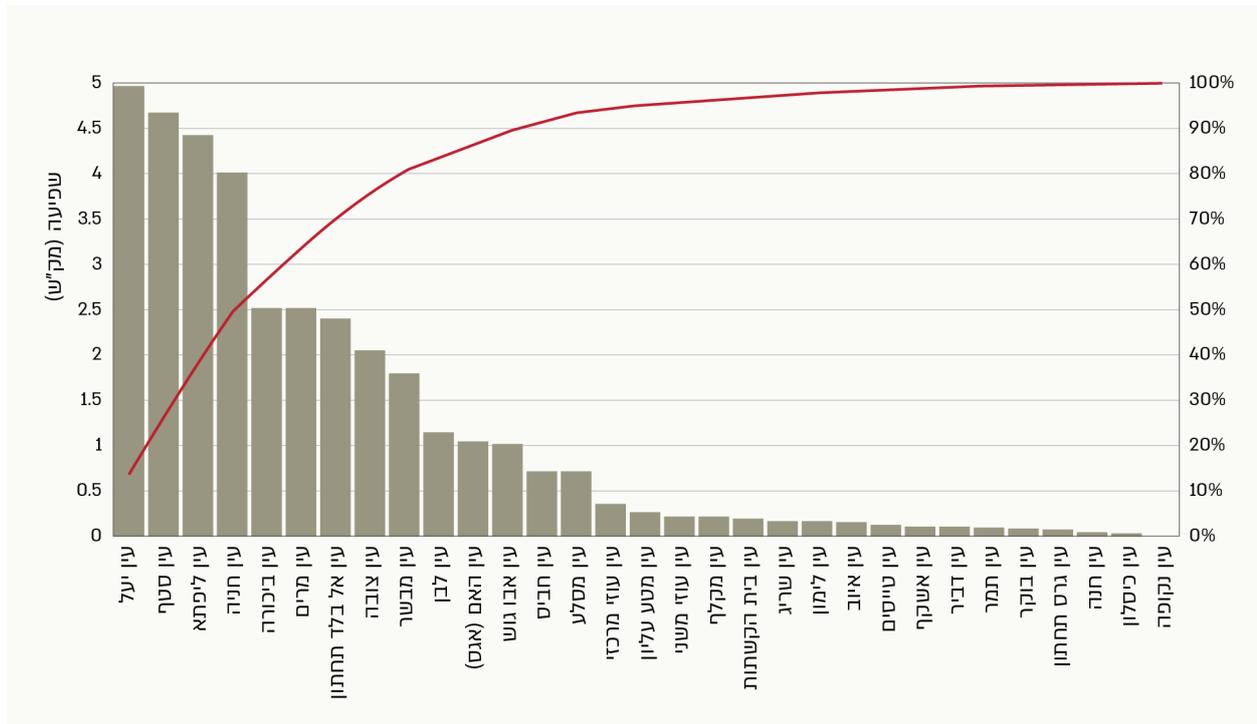
### איכות המים

נדגמו מים מ-49 מעיינות. ב-22 מעיינות נמדדו איכויות מים טובות מאוד, ב-12 מעיינות נמדדו איכויות מים בינוניות, המעידות על השפעות אנתרופוגניות קלות, וב-15 מעיינות נמדדו איכויות מים ירודות, המעידות על השפעות אנתרופוגניות, ככל הנראה, של תשתיות שפכים לקויות.

## תוצאות הדגימה ההידרוביולוגית

### עושר חסרי החוליות וערכיות המעיינות

נדגמו 40 מעיינות, ונמצאו בהם 42 טקסונים של חסרי חוליות אקוויטים. מבין חסרי החוליות זהו 20 טקסונים ממחלקת החרקים (מתוכם שמונה נציגים לזבובים ושישה



איור 2

### שפיעת המעיינות שנסקרו

31 המעיינות בעלי השפיעות הגבוהות ביותר. מגרף זה הוצאו מעיינות נחל ירמות ונחל ישעי בשל החשש כי המדידה בהם כוללת גם מקורות מים אנתרופוגניים, שאינם מגיעים מהנביעות (ניקוז עירוני, שפכים וכו'). הקו האדום מייצג את השפיעה המצטברת הכוללת של המעיינות שנסקרו.

מעיינות בגליל התחתון (כהן ואלרון, 2018) עמד על 9, 7.7, 6.95 ו-6.85, בהתאמה. נוסף על כך, עושר הטקסונים הכללי שנמצא בכל מעיינות הרי יהודה (42 טקסונים) נמוך מזה שנמצא בסקרים אחרים שנערכו באזורים גאוגרפיים אחרים בארץ.

ממצאי סקרי מעיינות שנערכו באזורים גאוגרפיים אחרים בארץ עולה כי במעיינות שנמצאו בהם בין 10 ל-16 טקסונים, גם עושר חסרי החוליות היה גבוה יחסית, והדבר מצביע על גוף מים עם מגוון בתי גידול שמאכלס קבוצות טקסונומיות שונות.

עושר הטקסונים במעיינות הרי יהודה נע בין טקסון בודד בעין סוף ובעין תנור ל-12 טקסונים בעינות תלם. בסקרים אחרים מספר הטקסונים המרבי שנמצא במעיין יחיד היה 15-16 טקסונים (אלרון ואח', 2013; כהן ואח', 2016; אלרון, 2018; אלרון וכהן, 2018). השוואה זו מדגישה את עושר חסרי החוליות האקוויטיים הנמוך במעיינות הרי יהודה.

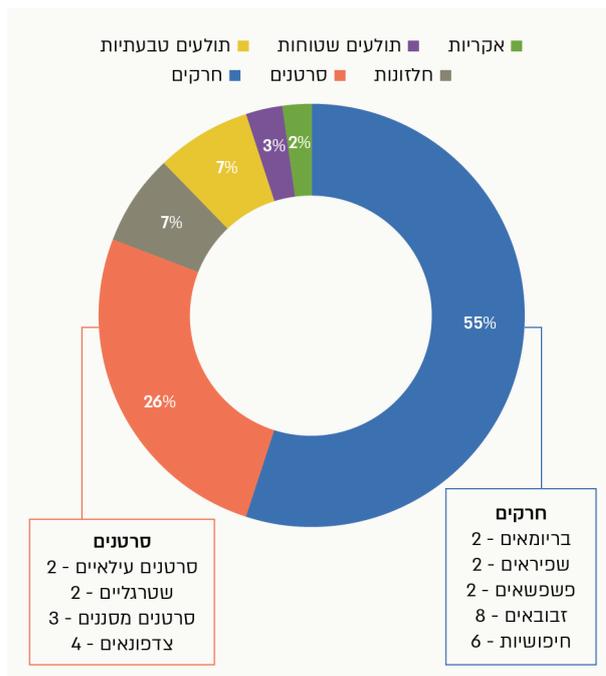
המעיינות העשירים ביותר בחסרי חוליות אקוויטיים מופיעים באיור 4. על בסיס הממצאים נמצא קשר בין מצב בית הגידול האקוויטי במעיין (שפיעה, מורכבות פיזית של גוף המים, תשתית, נוכחות הצמחייה האקוויטית) לבין עושר חסרי החוליות. בחמשת המעיינות העשירים ביותר ציון הערכיות ההידרוביולוגית שניתן בסקר היה גבוה. יתר חמשת המעיינות קיבלו ציון ערכיות בינוני. מעיינות רבים אחרים קיבלו ציון ערכיות נמוך.

הסיבות המרכזיות לכחיתה בעושר המינים ולמיעוט הגיוון בהרכב חברת חסרי החוליות כפי שעלה בסקר:

א. **שפיעה נמוכה** – תנאי זרימת המים משפיעים על האורגניזמים במים. בגוף מים קטן ורדוד מגוון בתי הגידול ואיכותם מצטמצמים מאוד, ובעקבות זאת נפגע עושר

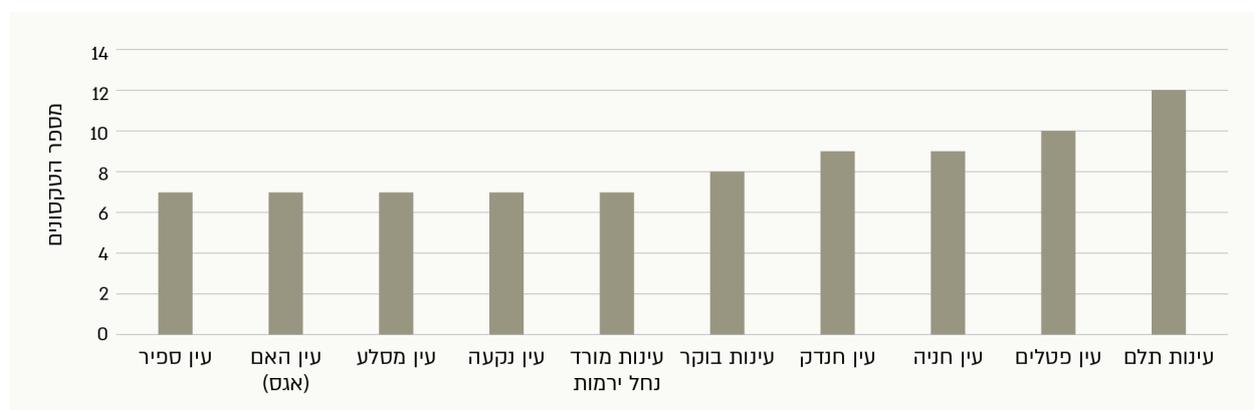
נציגים לחיפושיות) ו-11 טקסונים ממחלקת הסרטנים (איור 3).

כדי לאמוד את ערכיות המעיינות וסביבתם השווינו בין ממוצע מספר הטקסונים למעיין לבין נתוני סקרי מעיינות שבוצעו בשנים האחרונות. עושר הטקסונים הממוצע בסקר הנוכחי עמד על 5.5 טקסונים בלבד למעיין. לעומת זאת, עושר הטקסונים הממוצע למעיין בסקר מעיינות בנימין (אלרון, 2018), בסקר מעיינות אגן הכינרת (אברהם ואח', 2022), בסקר מעיינות גוש עציון (אלרון, 2020) ובסקר



איור 3

התפלגות אסופת חסרי החוליות בסקר לקבוצות טקסונומיות מרכזיות



איור 4

עשרת המעיינות בעלי עושר הטקסונים הגדול ביותר של חסרי חוליות אקוויטיים בהרי יהודה

מהמעיינות. נוכחותו מעידה על איכות מים טובה ועל זרימה קבועה לאורך השנה. השחריר הוא מין מוגן, אנדמי לאזור הלבנט, מוכר מאזורים שונים בישראל, ואינו נחשב נדיר. האפופית היא צדפה קטנה באורך של עד 10 מ"מ, שמאכלסת מקווי מים מתוקים שאיכות המים בהם גבוהה. בישראל מתוארים שמונה מינים, ששניים מהם נפוצים (*P. casertanum* ו-*P. annandalei*). המינים האחרים נדירים ותפוצתם מוגבלת לנחלים דן וחרמון (מילשטיין ואח', 2012). האפופית שנמצאה בסקר רק בעינות תלם בעמק הארזים משתייכת לאחד משני המינים האלה. בריומאים מהסוג בטיס נמצאו אך ורק בשני מעיינות שנדגמו בנחל ירמות והתאפיינו בזרימה מהירה, בניגוד לשאר המעיינות שנסקרו ומתאפיינים בתנאים בריכתיים. השפירית ריחופית כחולה נתפסה בשלושה מעיינות (עין חניה, עין צובה ועינות תלם), ובכולם בית הגידול התאפיין גם בצמחייה אקוויטית.

#### דו-חיים ודגים

הדו-חי השכיח ביותר במעיינות שנדגמו היה צפרדע נחלים (*Pelophylax bedriagae*) שאכלסה כ-23% מהמעיינות. ממצאי אכלוס גבוהים יותר נמצאו בסקרי מעיינות באגן ניקוז הקישון, בגליל התחתון המזרחי ובאגן הכינרת, ושכיחות האכלוס עמדה בהם על 47%, 53% ו-42% מהמעיינות, בהתאמה. מההשוואה עולה שבמעיינות הרי יהודה האכלוס על ידי הצפרדע נמוך.

בשמונה מעיינות הסקר נמצאו גמבוזיה או דג זהב, שניהם מינים פולשים שהוכנסו על ידי האדם. הגמבוזיה מוכנסת למערכות מים טבעיות בשל היותה טורף זחלי יתושים יעיל, שהשימוש בו נתפס בעבר כאמצעי הדברה ביולוגי יידידותי לסביבה. כיום ידוע שהגמבוזיה היא טורף אגרסיבי הניזון מחסרי חוליות שונים ומראשני דו-חיים ופוגע באוכלוסיותיהם. המדיניות הארצית אוסרת על שימוש בגמבוזיות או בדגים פולשים אחרים בבתי גידול אקוויטיים טבעיים. גם דג זהב הוא טורף, אוכל-כול, שניזון מסרטנים קטנים, זחלי חרקים, ביצי דגים, דגים צעירים, אצות וחומר אורגני נרקב. הוא גורם לעכירות גבוהה במים, ופוגע בצמחייה אקוויטית. הכנסת הדגים למעיינות על ידי הציבור גרמת לתוצאות הרסניות.

#### תוצאות הדגימה הבוטנית

בסקר מעיינות הרי יהודה תועדו 305 מיני צמחים, מתוכם 72 בעלי זיקה לבתי גידול לחים ו-18 מינים פולשים. כמו כן, אותרו מספר מינים מרשימות המינים בסכנת הכחדה או על סף איום. המינים האלה הם מינים שתולים או נטועים, ולא

המינים. השפיעה ברוב המעיינות שנסקרו נמוכה, ועל כן בית הגידול האקוויטי בחלק מהם היה הומוגני, מצומצם בהיקפו, בעל תחלופת מים נמוכה ומאפיינים בריכתיים בלבד.

ב. **בריכות שכשוך** – בניית בריכות ושכשוך למטיילים גרמת לפגיעה בערוץ הזרימה הטבעי, מפחיתה את המורכבות הפיזית בשל החלפת התשתית הטבעית בתשתית בטון, ויוצרת מצע חלק ואחיד ללא אבנים. כל אלה גורמים לסילוק צמחייה טבולה. שכשוך מבקרים רבים בעת ובעונה אחת במעין פוגע באיכות המים. ב-37 מעיינות בהרי יהודה נבנו בריכות שכשוך (אלרון וכהן, 2020, על בסיס כהן ופיין, 2011).

ג. **מחסור בצומח אקוויטי** – במערכות אקולוגיות במים מתוקים יש מתאם גבוה בין המורכבות הפיזית שיוצרת הצמחייה ההידרופילית לבין עושר ושפע חברת חסרי החוליות. הצומח מהווה מקור מזון, מספק מסתור לטורפים ולנטרפים ומצע לאורגניזמים שונים בזמן התפתחותם. גופי המים במעיינות הרי יהודה מבוטנים ברובם ועניים בצומח אקוויטי, מה שמשפיע לרעה על חברת חסרי החוליות.

ד. **הכנסת דגים זרים** – לדגים פולשים יש השפעה שלילית על בעלי חיים, בהם דו-חיים וחסרי חוליות גדולים, על ידי טריפה ותחרות על משאבים. שני מיני דגים עיקריים שמוכנסים למעיינות הם הגמבוזיה (*Gambusia affinis*) ודג זהב (*Carassius auratus*), והם גורמים נזק חמור לבעלי החיים המקומיים ולבית גידולם הטבעי (אלרון ורוטשילד, 2012).

הטקסונים השכיחים ביותר שנמצאו במעיינות היו: ימשוש מסוג *Chironomus* sp. (65% מהתחנות), בריום מסוג *Cloeon* sp. (47.5%), אחד ממיני הסרטנים ממחלקת הצדפונאים (42.5%), סרטן מסוג טחבית המים (*Proasellus coxalis*) (32.5%), עלוקה מסוג *Dina* sp. (30%) והחילזון בוענית חדה (*Haitia acuta*) (27.5%). רוב חסרי החוליות האלה הם מינים כוללניים, המתאפיינים בתפוצה רחבה ובעמידות גבוהה לתנאים משתנים, כגון מליחות גבוהה וריכוזי חמצן נמוכים. לכולם העדפה לבתי גידול אקוויטיים בעלי אופי בריכתי.

המינים חסרי החוליות הרגישים ביותר לריכוזי חמצן נמוכים ולריכוז אורגני גבוה שנמצאו הם החילזון שחריר חלק (*Melanopsis buccinoidea*), צדפה מסוג אפופית (*Pisidium* sp.), בריום מהסוג בטיס (*Baetis* sp.) והשפירית ריחופית כחולה (*Orthetrum chrysostigma*). שלושת האחרונים נמצאו בחלק קטן מהמעיינות. במערב הרי יהודה השחריר החלק נמצא ב-17.5%

שני מינים על סף איום: מילה סורית (*Fraxinus angustifolia* subsp. *syriaca*) שנשתלה במעלה נחל ירמות ובעין מטע עליון, וגרגרנית משובלת (*Trigonella spicata*) שגדלה בעיקר בשטחים טבעיים, שאינם לחים.

**מינים פולשים**

בסקר תועדו 18 מינים פולשים ושבעה מינים זרים. מבין המינים הפולשים בולטים המינים אילנתה בלוטית (אילנטוס, *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) וזיף-נוצה חבוי (דשא קוקויה, *Pennisetum clandestinum* Chiov.) שנצפו במספר רב של מעיינות, הם משפיעים על האקולוגיה המקומית ומונעים התפתחות של מינים טבעיים מקומיים (דופור-דרור, 2019). המינים יערה יפנית (*Lonicera japonica*) ובוהניה מגוונת (*Bauhinia variegata*) הם צמחים זרים המשמשים לגינון. נוכחותם בשטחים טבעיים מעלה חשש שיהפכו בעתיד למינים פולשים.

שקלול תוצאות הסקר ויצירת ציון הכולל את הערכיות הביולוגית, הערכיות הבוטנית, שפיעת המעיין, איכות המים שנמדדה בנביעה, ומידת ההפרה הסביבתית במעיין ובסביבתו הקרובה מוצגים בטבלה 1. בטבלה מוצגים 14

מינים שהתפתחו באופן טבעי (זהרי, 1956). בסקר לא נצפה צומח טבול.

כיוון שחלק גדול ממעינות הסקר הם בעלי שפיעה נמוכה יחסית וזרימה עונתית, ומאופיינים בהפרות רבות הכוללות תעלות ובריכות מבוטנות, ניתן להכליל ולומר שהצומח המאפיין את המעינות שנסקרו מורכב ממינים עמידים יחסית. דבר זה מתבטא במיעוט מינים נדירים שלרוב רגישים יותר. רוב המינים המאפיינים בתי גידול לחים הם עשבוניים, ורובם חד שנתיים. עצי ערבה, המהווים סממן למעינות בעלי שפיעה יציבה, גבוהה יחסית וממושכת, תועדו בשבעה מעיינות. זהו שני מיני ערבה: ערבה לבנה (*Salix alba*) וערבה מחודדת (*S. acmophylla*). בסקר נצפה מין אחד של צמח צף: עדשת מים זעירה (*Lemna minor*). מין זה ידוע כמין שמחבב מקווי מים עשירי נוטריינטים המגיעים לרוב מחלחול שפכים או מחלחול שמקורו בהשקיה חקלאית.

**מינים נדירים ובסכנת הכחדה**

בסקר תועד מין אחד בסכנת הכחדה – גומא הפכירוס (*Cyperus papyrus*) שכנראה נשתל בעין יעל, וכן

ציון כולל	הפרה סביבתית	איכות מים	שפיעה	ערכיות בוטנית	ערכיות הידרו-ביולוגית	
2.4	🔵	🟠	🟡	🔵	🔵	עין לימון
2.6	🔵	🟠	🟡	🟡	🔵	עין מסלע
3.4	🔵	🟡	🟡	🔵	🔵	עין מקלף
2.6	🔵	🟠	🟡	🔵	🔵	עין נקעה
2.2	🔵	🟠	🟡	🔵	🔵	עינות בוקר
2.2	🔵	🔵	🟡	🟠	🔵	עינות כיסלון
2.2	🔵	🟠	🟡	🟠	🔵	עינות תלם
3.8	🔵	🟡	🟡	🟡	🟡	עין אל בלד עליון
3.6	🔵	🟡	🟡	🟡	🔵	עין אל בלד תיכון
2.6	🔵	🟠	🔵	🔵	🟡	עין ביכורה
3.8	🔵	🟡	🟡	🟡	🔵	עין ספיר
2.6	🔵	🟠	🟡	🔵	🟡	עין עוזי (מרכזי)
2.6	🔵	🟠	🟡	🔵	🔵	עין כפירה
3.2	🔵	🔵	🟡	🟡	🔵	עין גרס תחתון

**טבלה 1**

**מדדים שונים וציון כולל של תוצאות הסקר**

מידת הערכיות

- 🟠 1.5-0 גבוהה מאוד
- 🔵 2.5-1.5 גבוהה
- 🟡 3.5-2.5 בינונית
- 🟡 4.5-3.5 נמוכה
- 🟡 4.5 ומעלה נמוכה מאוד

ממצאי הסקר מעידים שחברת צומח בתי הגידול הלחים בהרי יהודה היא חברה פגועה המאפיינת במספר גבוה של מינים שעמידים להפרות שונות, ובמספר נמוך מאוד של מינים נדירים ורגישים. בניית בריכות ותעלות ונזכות מטיילים אינטנסיבית בסביבת המעיינות פוגעות בהתפתחות צומח הגדות והן כנראה הגורם המרכזי להיעדר צומח צף וטבול ברוב המעיינות.

ב-40 מעיינות בוצע שקלול ערכיות אקולוגית, הכולל ממצאים הידרוביולוגיים, ממצאים בוטניים, איכויות המים, שפיעות שנמדדו בנביעות ומידת ההפרה בנביעות המעיינות ובסביבתם הקרובה, ומאפשר הערכה אינטגרטיבית של מצבם האקולוגי של המעיינות.

הערכיות האקולוגית הכוללת המאפיינת את מעיינות הרי יהודה היא בינונית. ארבעה מעיינות סווגו ברמת ערכיות גבוהה (עין לימון, עינות בוקר, עינות כיסלון, עינות תלם), שלושה מעיינות סווגו ברמת ערכיות נמוכה (עין ספיר, עין אל בלד עליון ותיכון). יתר המעיינות סווגו ברמת ערכיות בינונית. באזור הסקר לא תועדו מעיינות עם ערכיות גבוהה מאוד או נמוכה מאוד.

לרט"ג ולקק"ל, כארגונים המנהלים שטחים פתוחים, אחריות לשימור ולשיקום של המערכות הטבעיות בתחומן, ובתוכן המעיינות, ועל כן הן מקדמות תוכניות שימור ושיקום אקולוגי במעיינות הרי יהודה, שמצבם האקולוגי ירוד. התוכניות יכלו להבטיח שימוש מאוזן במעיינות לצד שימור טבעי.

המעיינות הבולטים בממצאיהם לטובה ולרעה. לא נמצאו מעיינות שערכיותם הכוללת גבוהה מאוד או נמוכה מאוד. בממוצע, הערכיות האקולוגית הכוללת המאפיינת את מעיינות הרי יהודה היא בינונית.

## סיכום

מרחב הרי יהודה הוא אחד האזורים העשירים בכמות המעיינות בישראל. שפיעת המעיינות באזור הסקר נמוכה, ועל כן מקיימת בתי גידול מקומיים ומצומצמים.

מתוך 53 מעיינות שנסקרו בהרי יהודה, ב-49 נמצאו מים. ב-34 מעיינות מתוך 49 המעיינות שנמצאו בהם מים, נמדדו שפיעות. בשאר המעיינות לא נצפתה זרימה או שלא ניתן היה למדוד את השפיעה.

ב-22 מעיינות נמדדו איכויות מים טובות מאוד, ב-12 מעיינות נמדדו איכויות מים בינוניות, המעידות על השפעות אנתרופוגניות קלות, וב-15 מעיינות נמדדו איכויות מים ירודות, המעידות על השפעות אנתרופוגניות, ככל הנראה, של תשתיות ביוב לקויות.

עושר מיני חסרי החוליות האקוויטיים במעיינות הרי יהודה נמוך בהשוואה למעיינות באזורים אחרים בארץ, וזאת בשל השפיעות הנמוכות, מחסור בצומח אקוואטי והפרה של המרחב הטבעי במעיינות באמצעות בניית בריכות שכשוך והכנסת דגים זרים.

בסקר תועדו 305 מיני צומח, מתוכם 72 בעלי זיקה לבתי גידול לחים ו-18 מינים פולשים.

## מקורות

דפור-דרור ז"מ. 2019. **הצמחים הפולשים בישראל** (מהדורה שנייה). דן פרי. זהרי מ. 1956. הצמחייה והצומח בנוף ירושלים. מתוך: אבי-יונה מ (עורך). **ירושלים**. עמ' 64-75, כרך ראשון, הוצאת מוסד ביאליק ודביר.

כהן א. 2010. **השקייט שטחים ציבוריים בירושלים בקולחים שלישוניים – סקר הידרוגאולוגי**. היחידה הסביבתית, רשות הטבע והגנים.

כהן א, אלרון א, סבר י ופימן ד. 2016. **סקר הידרוביולוגי מעיינות רמת מנשה**. חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים.

כהן א ואלרון א. 2018. **סקר הידרו-ביולוגי במעיינות מזרח הגליל התחתון**. נערך עבור רשות ניקוז ונחלים ירדן דרומי.

כהן א ופימן ד. 2011. **סקר מעיינות הרי יהודה**. חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים. מילשטיין ד, מיניס ה וריטנר ע. 2012. **מגדיר שדה לרכיכות המים הפנימיים של ארץ ישראל**. רשות הטבע והגנים.

פורת י. 1988. בני כמה נחלי המעיינות? **טבע וארץ**, 11/7, 42-45.

פלג נ. 2009. **מודלים הידרולוגיים למעיינות שעונים בהרי יהודה ושומרון** (עבודה לקבלת תואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.

רון צ. 1977. ניצול מעיינות לחקלאות שלחין בהרי יהודה. מתוך: שמואלי א, גרוסמן ד וזאבי ר (עורכים). **יהודה ושומרון – פרקים בגיאוגרפיה יישובית**. כרך א', עמ' 230-250. ירושלים: כנען.

אברהם ה, אושינסקי א, אלרון א, הולנדר ע, ישראלי מ וכהן א. 2021. **סקר מעיינות באגן הכנרת**. נערך עבור רשות ניקוז ונחלים כנרת. ליגמ פרויקטים סביבתיים, אלרון אקולוגיה וסביבה ורשות הטבע והגנים.

אלרון א ורוטשילד א. 2012. **מעיינות בישראל – הטבע והאדם: ייחודיות אקולוגית של מעיינות והמלצות לניהול שימושי הפנאי והנופש**. החברה להגנת הטבע.

אלרון א, ינאי ז, שיצר ד, ויינבלום, נ, כהנא, א, שכנאי, ע וספיר, ג. 2013. **סקר מעיינות אגן נחל קישון**. עבור רשות הטבע והגנים. DHV MED.

אלרון א. 2018. **סקר הידרו-ביולוגי במעיינות מרחב בנימין**. נערך עבור רשות הטבע והגנים. אלרון אקולוגיה וסביבה.

אלרון א. 2020. **סקר הידרו-ביולוגי וצומח במעיינות מרחב גוש עציון**. נערך עבור רשות הטבע והגנים. אלרון אקולוגיה וסביבה.

אלרון א וכהן א. 2020. השפעת האדם על תפקודם הטבעי של מעיינות בישראל. **אקולוגיה וסביבה**, 11(2), 60-61.

בורג א. 1998. **גאוכימיה והידרולוגיה של מעיינות שעונים בסלעים קרבונאטיים בצפון ומרכז ישראל** (עבודה לקבלת תואר דוקטור). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.

גבירצמן ח. 2019. **משאבי המים בישראל**. ירושלים: יד בן צבי.



דגימה הידרוביולוגית בעין צובה  
צילום: אריאל כהן



דגימה הידרוביולוגית בעין כיסלון  
צילום: אריאל כהן



# יום עיון בנושא פיקוס השקמה בישראל – סקירה

האנה לב

אגף הייעור קק"ל  
hanah@kkl.org.il

בניגוד למיני הבר, פיקוס השקמה הובא לישראל ממזרח אפריקה לפני אלפי שנים. הוא אינו גדל בה בר, והריבוי שלו נעשה על ידי ייחורים. הוא משגשג בעיקר לאורך מישור החוף הדרומי והמרכזי ובבקעה, מאחר שלגידולו דרוש אזור חם ונמוך עם כמות מים גבוהה בקרקע. פיקוס השקמה אינו מייצר זרעים בישראל בשל היעדר הצרעה הייחודית שמאביקה את הפגה שלו. בישראל קיים מין דומה של צרעה בעלת מחזור חיים זהה, והיא מטילה ביצים בתוך הפגה. ההטלה מאפשרת הבשלה, אך לא מתקיימת האבקה שמובילה לייצור זרעים. דרך נוספת, מקוצרת, להבשלת הפגה היא בליסה – פרקטיקה הכוללת חתך קטן בפגה עם כלי ייעודי – שנהוגה כבר מימי התנ"ך.

אחת ההרצאות עסקה בתהליך ההעתקה המורכב של עץ שקמה עתיק שעמד במסלול המתוכנן של הרכבת הקלה בחולון. עצי שקמה יכולים לחדש שורשים במהירות, ועמידותם להעתקה טובה יחסית, כל עוד הדבר נעשה בליווי מקצועי לאורך זמן. למרות זאת, ההעתקה היא תמיד מוצא אחרון. במקרה זה לא הייתה כל אפשרות להזיז את

בחודש מאי 2025 הוביל אגף הייעור בקק"ל יום עיון שעסק בהיבטים השונים של פיקוס השקמה (*Ficus sycomorus*) בישראל. היוזמה להעלות את הנושא לסדר היום הייתה של אלי יזרעאלי, ראש מחלקת גינון ונוף בעיריית אשקלון לשעבר, מתוך צורך לשתף את הציבור באתגרים הכרוכים בשמירה על כאלף עצי שקמה הגדלים באשקלון, וכן רבים נוספים הגדלים בעיקר בשפלה ובמישור החוף, לנוכח לחצי פיתוח ועבודות תשתית גוברות. יום העיון כלל הרצאות וסיור במספר אתרים.

ההרצאות עסקו בהיבטים שונים הקשורים לעצי השקמה: מהיבטים בוטניים ותנ"כיים ועד לתוכניות ניטור ושימור. במושב הראשון נסקרו הביולוגיה של העצים, התפוצה שלהם ומחזור החיים שלהם. ברחבי העולם קיימים 881 מינים של הסוג פיקוס, ובישראל גדלים שני מיני בר: פיקוס התאנה (*F. carica*) ופיקוס בת-שקמה (*F. palmata*) שהוא מין נדיר. לסוג פיקוס יש תכונות מרתקות – כמו נביטה ייחודית והתפתחות פרי בשם 'פגה' (Syconium) שמואבק על ידי צרעה שונה וייחודית לכל מין.

עץ שקמה נוסף, עתיק ויוצא דופן, בחורשת מרגלית באשקלון הוצג למשתתפים. הוא התגלה במקרה בשנת 2022, ולאחר מכן נערך מסקרי טבע או מרשימת עצים לשימור, כיוון שהשתרע על פני שטח גדול ונרחב שחלק ממנו יועד לבנייה למגורים. לאחר פרסום בכתב עת מקומי החליטה העירייה לשמר את העץ, והמתחם שלו נוקה ותוחם באמצעות בולדרים. כיום העץ נראה חיוני ושמור, ויש לקוות כי ייעוד הקרקע ישונה כדי לאפשר את המשך שימורו של נכס טבע לאומי זה (ראו 'עצים ששווה להכיר' בגיליון זה).

### תודות

למארגני יום העיון: ד"ר שני רוהטין-בליץ, נועם לוי וגיל סיאקי על ההזדמנות להתעמק בנושא בעל חשיבות סביבתית וחברתית ועל מימוש הרעיון בזמן קצר.

תוואי המסילה, והוחלט להעביר את העץ – במחיר של כשני מיליון ש"ח – סכום שהיה נמוך מהקנס האפשרי על כריתתו. כך, העץ המרשים הוזז כ-200 מטר ממקומו.

מדובר בעץ בעל ממדים חריגים, והכנתו להעתקה הייתה מורכבת וניסיונית. העץ כלל מספר רב של גזעים ללא גזע מרכזי, ובחפירה באדמה החולית סביבם נמצאו שלוש שכבות שורשים ונכחות של שכבות חרסית שסייעו בייצובם. סביב השורשים נקשרו שקיות מילוי גדולות, והותקנה בהן מערכת השקיה בטפטוף. לצורך ההעתקה נבנו קונסטרוקציית תמיכה וכלוב בגובה 12 מטר, ששימש להרמה ולהורדה. עקב הרוחב החריג של הכלוב נדרשו שתי משאיות להובלה, והמסע ארך כחצי שעה. המשקל הכולל של "חבילת ההעתקה" הוערך בין 400 ל-500 טונות, פי שניים מהממוצע בהעתקות. למרות הקשיים, ההעתקה הצליחה והעץ משגשג.



השקמה באשקלון, מבט מקרוב  
צילום: אוסי בנימין



# פארק נחל השופט – פארק יער מנוהל בדגש על חוויית המבקר וחיבור לקהילה

יותם רשף<sup>1</sup> | נועה שתיל<sup>2</sup>

- 1 מנהל פארק נחל השופט, קק"ל
- 2 רכזת קליטת קהל, פארק נחל השופט, קק"ל
- \* yotamr@kkl.org.il

כארבע שנים, וכסף רב הושקע בבניית השביל מחדש ובהסדרת דרכי הגישה אליו. בד בבד עם ביצוע העבודות, חלחלה בקק"ל ההבנה שיש צורך גם במודל ניהולי אחר וחדש, וכך באפריל 2024 נפתח לציבור פארק נחל השופט, הפארק המנוהל הראשון בקק"ל. הפארק שם דגש על חוויית המבקר ועל חיבור לקהילה המקומית, תוך התמודדות עם אתגרים של ניהול תא שטח אינטנסיבי מאוד מבחינת כמויות המבקרים בו.

לפארק גויס צוות ייעודי שכולל מנהל פארק, רכזת קליטת קהל ורכז אחזקה, ונחתם הסכם שיתוף פעולה עם המועצה האזורית. המודל מאפשר ניהול מקצועי, רמת תחזוקה גבוהה, מענה מהיר לבעיות ובעיקר נוכחות קבועה בשטח ומפגש קבוע עם המבקרים וזאת בתא שטח קטן יחסית אבל אינטנסיבי ופופולרי מאוד. מתוך כך עולה השאלה איך בעצם יוצרים חוויית מבקר טובה יותר וחיבור קהילתי בפארק טבע פתוח?

פארק נחל השופט, שגודלו 13,000 דונם, ממוקם בליבם של פארק רמת מנשה והמועצה האזורית מגידו. פארק רמת מנשה, שגודלו 81,000 דונם, הוגדר בשנת 2011 כמרחב ביוספרי על ידי אונסק"ו לאור התייחסותו לפיתוח בר-קיימא לצד שמירה על ערכי טבע. המרחב הביוספרי מגידו ופארק נחל השופט מאופיינים באוצרות טבע ייחודיים, יערות, שדות חקלאיים, נחלים זורמים, מעיינות שופעים, אתרים ארכאולוגיים, פריחות נרחבות ונוף עוצר נשימה, שהופכים את המרחב הביוספרי לייחודי בטבע הישראלי. בליבו של פארק נחל השופט ממוקם שביל נגיש, המונגש לכיסאות גלגלים ולעגלות, ופוקדים אותו מאות אלפי מבקרים בשנה. בשנת 2020, בעקבות רצף של ימים גשומים, עלה נחל השופט על גדותיו ושטף חלקים נרחבים מהשביל הנגיש שהיה בנוי ברובו מעץ. האירוע גרם לסגירה של האתר למבקרים ולצורך בחשיבה מחודשת על הנגשת המקום למבקרים. לאחר תהליך תכנון החליטה קק"ל על יציאה לדרך בפרויקט הנגשת נחל השופט מחדש ופיתוח כל המרחב שלו כמכלול פנאי מרכזי. ביצוע הפרויקט ארך

פעמיים בחודש ללמידה ולהתנדבות מעשית בפארק. רבים מהמתנדבים צעדו בפארק עוד לפני שהיו בו דרכים סלולות, והם מכירים כל פינה ביער. התוכנית מעניקה להם פלטפורמה למפגש חברתי, להתנדבות ולהשפעה על החצר הקדמית של הבית שלהם. עבורנו זו הזדמנות ללמוד על ההיסטוריה של המקום דרך הסיפורים שלהם וליצור עבודה משותפת עם הקהילה בשמירה ובפיתוח של הפארק לדורות הבאים. התוכנית השנייה שפעלה השנה היא תוכנית מעורבות תורמת לתלמידי כיתות ח' מתיכון אזורי מגידו, הממוקם סמוך לפארק. התלמידים התנדבו אצלנו במהלך השנה בעבודות של הכשרת שבילים, ניקיון וגיזומים, וכן נהנו מהפעלה חווייתית בטבע. עבורם זה המרחב הטבעי שמחוץ לבית, והתוכנית מאפשרת להם להשאיר חותם לשנים קדימה.

בסתיו תשפ"ו נפתחו שתי תוכניות קהילתיות נוספות. הראשונה היא תוכנית חינוכית שנתית עם בי"ס יסודי פלנים, הנמצא ממש במורד נחל השופט. במהלכה התלמידים יהפכו לחוקרים צעירים, ילמדו על הנחל, על הצמחייה, על בעלי החיים ועל השפעות האדם, וכן יתנסו בניטור מי הנחל ובעבודה תורמת לשיקום מעיין אמי (עין חשרת). התוכנית הזו היא תוצר שיתוף פעולה גם בין היחידות השונות בקק"ל ומשתתפים בה מנהל פיתוח קרקע (מפ"ק), החטיבה לחינוך ולקהילה והמדען הראשי. תוכנית נוספת שתצא לפועל בשנה הקרובה היא "היער כמרחב מרפא". זו תוכנית למידת יער על כל מרכיביו המשלבת עיבוד של חוויות מלחמה וטראומה, ובמהלכה ייצרו המשתתפים מרחב מרפא ברחבי הפארק לשימושם ולשימוש מבקרים נוספים גם לאחר סיום התוכנית.

בזאת הושלמה פתיחה של ארבע תוכניות קהילתיות, שכל אחת מהן פונה לפלח אחר באוכלוסייה (ותיקים, צעירים, נוער וילדים). התוכניות יוצרות קשר עמוק וארוך טווח עם הקהילה המקומית, מחזקות את החוסן של הקהילות ועוזרות להפוך את המשתתפים בהן לשגרירים ליער ולקק"ל.

כולכם מוזמנים – בואו לבקר, עדיף מוקדם ולא בימי עומס. נראה בנחל!

קישור לפארק רמת מנשה

[www.kkl.org.il/parks\\_and\\_forests/ramat\\_menashe](http://www.kkl.org.il/parks_and_forests/ramat_menashe)

קישור לפארק נחל השופט

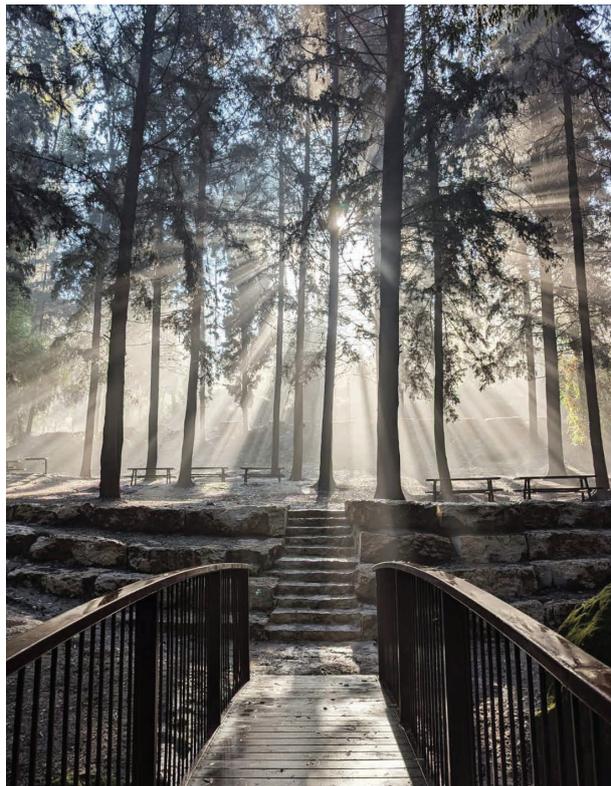
[www.kkl.org.il/travel/trips/2790](http://www.kkl.org.il/travel/trips/2790)

בתכנון חוויית המבקר אנחנו מסתכלים על כל השלבים שהמבקר עובר בבואו לפארק – מקבלת המידע דרך אתר האינטרנט ועד רגע העזיבה שלו את האתר והאפשרות להשאיר משוב. כדי להתמודד עם עומס המבקרים בשביל הנגיש בנחל אנו משתדלים לפזר את קהל המטיילים ולעודד אותם לבקר במקומות נוספים ברחבי הפארק ומחוץ לו, ולשם כך עובדים על פיתוח והנגשה של מסלולי טיול, הרצון הוא לתת מענה לקהלים שונים, גם למשפחות עם עגלות ילדים המגיעות למסלול הנגיש בנחל השופט, אך גם למשפחות שרוצות לטייל טיול ארוך יותר, וכן למיטיבי לכת. בפארק ישנם מספר מסלולי טיול, ונוספים ייפתחו בקרוב. בתחילת 2026 ייפתח מסלול מערות קירי, פרויקט ייחודי בשיתוף עם רשות העתיקות, שיעבור בין ארבע מערות שייפתחו לקהל, ויגדיל את אפשרויות הטיול למטיילים בנחל השופט. החטיבה לחינוך ולקהילה של קק"ל עומלת על פיתוח משחק חוויית ומוסלול טיול ייעודי עבור משפחות וקבוצות המגיעות אל חינוכי הפיקניק, שיהווה אטרקציה נוספת לפעילות חווייתית בפארק. רוכבי האופניים נהנים משני סינגלים פופולריים מאוד, שיש בהם שלוש מבואות כניסה, שילוט, חניות אופניים ומשאבת אופניים ציבורית. נוכחות קבועה של הצוות באתר מאפשרת מתן מענה אנושי לשאלות ולפתרון בעיות. פיתחנו גם שאלון משוב דיגיטלי, שניתן למלא בצורה עצמאית, כדי לאפשר למבקרים להביע את דעתם ולהשפיע. ניתן לסרוק אותו בשטח הפארק, ואפשר גם לפנות לעובדי הפארק בבקשה למלא את השאלון. המשוב נותן לצוות המנהל הזדמנות לקבל מידע אמיתי ובלתי אמצעי מהמטיילים בנחל, ומאפשר להמשיך ולהשתפר לאורך הדרך. למשל, בעקבות בקשות חוזרות מהעונים על השאלון הותקנה באמצע המסלול ברזייה חדשה.

אם המיקוד בחוויית המבקר נוגע בכל הקהלים המגיעים לפארק, מטרת החיבור הקהילתי היא ליצור את הקשר המקומי עם הקהילות השכנות והמועצה. הרעיון הוא לחשוף את האנשים שגרים סמוך ליער לפעילות קק"ל, לרתום אותם לשמירה על היער וליצור איתם קשר ישיר. את הקשר הזה אנו משיגים באמצעות תוכניות ארוכות טווח, שיוצרות חיבור עמוק ומחייב עם הקהילה המקומית, והוא מרכיב משמעותי וחשוב בפאזל שנקרא "פארק מנוהל". בשנת 2025 הפעלנו שתי תוכניות קהילתיות, שכל אחת מהן התמקדה בקהל יעד אחר. תוכנית הדגל היא "נאמני נחל השופט", תוכנית התנדבות עבור בני הגיל השלישי בשיתוף עם המועצה ומרכז גילאור לגיל השלישי. מדובר בקבוצת מתנדבים קבועה מיישובי הסביבה, שנכנסת



זרימה של ערוץ נחל סנין המתחבר לנחל השופט וזורם כל השנה  
צילום: יותם רשף



ערפילי בוקר בחניון נחל גחר  
צילום: יותם רשף



שביל סובב נחל השופט  
צילום: יותם רשף



## יער של ספרים

### גלעד אוסטרובסקי

אגף הייעור קק"ל  
GiladO@kkl.org.il

### הקפות ביער, דלין מתיה, 1985, תל אביב Circles in a Forest, Dalene Matthee 1984

ההון המשלם להם ביד קפוצה, רק כדי לקנות קפה וסוכר בהקפה.

שאלו הילד (לאביו קוראים יורם, לאחיו יוסף, לאחיינו יצחק – לכולם שמות מן התנ"ך) גדל ביער, ובקרבו שוקקת האתיקה של היער, זו הרואה שלמות והרמוניה, המכירה בערך ובזכות הקיום של כל בעלי החיים, הצמחים, האדמה, העצים ובני האדם. הוא מרגיש קשר עמוק לכל שוכני היער, מכיר את מערה היער, את השבילים הנסתרים, הנקיפים, המעיינות והגבים, הנחלים, הסלעים ואת העצים למיניהם. לכל עץ תכונות ואופי משלו. יש להכירו כחוטב עצים, אך כאיש היער, לעץ נועד תפקיד נוסף, מקום המפלט מפני 'גדולי הרגליים' הלא הם הפילים, ובראשם 'זקן רגל', פיל גדול וחזק שרוח אלהים מרחפת מעליו, בעל תושייה וחוכמת חיים. רבים ניסו לפגוע בזקן רגל, לצוד אותו ולעקור את חטיו, אך איש לא הצליח. גם שאלו פגש אותו ומיהר לטפס על עץ, אך נרקם ביניהם קשר בל יתואר, קשר של יראה ואהבה, המיוחד לשני יצורי היער, עד כדי הכרה שהפיל החכם הוא אחיו הרוחני (ותובנה זו מתבהרת אט אט ובהדרגה עד לכדי סופו הדרמטי של הסיפור). ואומנם, הקשר הרגשי אל הפיל מתחבר אצלו להתנגדותו להרג פילים ולעקירת החטים במטרה למוכרם בדמים רבים, והוא רואה בכך פשע של ממש.

הפעם ספר ממדור "הספרות היפה", רומן מיבשת אחרת ומזמנים אחרים. זהו ספר מיוחד במינו, בעל עוצמה שקטה ועמוקה, מרתק ומרומם. היער על כל השפע שבו, קסמיו וחידותיו מאציל את הודו ומעניק מרוחו המסתורית המשתרגת בנפש האדם. זהו סיפור על היער כמעצב את אישיותו וערכיו של האדם. האדם הוא תבנית נוף מולדתו.

הסיפור מתרחש בדרום אפריקה במאה ה-19. הגיבור, שאלו ברנארד, נולד ביער לשושלת של חוטבי עצים, גאים וחזקים, שפרנסתם דחוקה. חטיבת העצים היא עבודה מפרכת הנעשית בגרזנים ובמסורים ידניים. הם עובדים מבוקר עד ליל, ולעיתים נדרש שבוע שלם לחטוב עץ אחד, לנסרו ולהטעינו על העגלה הרתומה לשוורים. החוטבים מכירים כל עץ ועץ, על אופיו ותכונותיו: קלנדר, אלנוס לבן ואלנוס אדום, אוקוטיאה, אסגאי, אויניה, ספרון הררי, סמבוק, סקולופיה, קומסי, גרדניה אדומה, פוקירה (כך מופיעים שמות העצים בתרגום העברי בספר). לאלה בינינו שעוסקים בעבודת דילול היער אני ממליץ לקרוא את התיאור היפה של הצוות שניגש לכריתת עץ אוקוטיאה מפואר. התכנון המדוקדק, חישוב זווית הנפילה וכיוונה, ההתייחסות לצומח הנמצא סביב וחשיבות התכנון המוקדם לשלבים הבאים של הניסור וההובלה מרתקים. המסע אל העיירה, ארוך ומייגע, ובבואם למכור את העץ, הם נתונים לחסדיו של סוחר העצים, בעל

נחת וללא פשרות, עושה עוד הקפה מפתיעה עם 'זקן רגל', עם משפחתו ועם אהובתו.

הסיפור היפה הזה מציג לנו גם תמונה של קיימות ביער. "מימיו לא ראה בני אדם אצילים יותר מזקני היער. ישרים. פשוטים. ברי לבב, ומעצם טוב ליבם הם שמחים בחלקם". זו תמונה של חיים בתוך הטבע, כאשר ההתפרנסות מהטבע מתקיימת מתוך שמירת קשר עז אל הטבע. החוטבים אוהבים את היער ומבינים את מהותו ואת ערכו, בהיותו בית למערכות חיים מגוונות ועשירות. אפילו לפיל המאיים והמסוכן יש חלק חשוב בחיים ביער. לכל צמח ולכל בעל חיים תכונותיו, ערכו וסגולותיו, גם כאשר אינם לתועלתו של האדם. פגיעה לא מידתית בהם מחוללת התדרדרות.

חוטבי העצים, שמלאכת יומם היא גרזנים ומסורים ועצים כרותים, יכולים להוות דוגמה לאיזון הזה. איזון שמורכב מתבונה ומרגש. שאלו עצמו, בכל הווייתו מייצג אפשרות של קיימות ביער: עבודה ביער תוך שמירת כבוד האדם וכבוד העולם.



MODERN CLASSICS



Dalene Matthee  
*Circles in a Forest*

כריכת הספר 'הקפות ביער' באנגלית

"ארבע שנים נדרשו לו ללמוד שהחיים הם הקפות במעגל קסמים. החוטב ממית את היער, הקונה ממית את החוטב". ואף שהממשל הטיל מגבלות על הכריתה כדי להגן על היער, השוק דרש לקבל עוד ועוד עץ למסילות ברזל, למזחים, לנמלים, לקרונות, לשולחנות ולכיסאות, לארונות ולמיטות. שאלו מתקומם לנוכח העוול הנגרם למשפחתו מידי הסוחרים, ובאותה העת, רגישותו המוסרית רואה בהטלת הגרזן ברקמה החיה של העץ כמעשה פגום שבל יעשה. אביו מכריח אותו לאחוז בגרזן, גוער בו, מעליב אותו ומטיח בו עלבון קשה בשפת החוטבים - "גרזן קהה" - כזה שאין בו צורך, ודינו להיות מושלך הצידה.

זהו סיפור על פריצה למרחב, על קוד מוסרי מוצק, על עקשנות וייעוד, ועל כל הגבורה והסבל הכרוכים בהליכה בדרך זו של החיים. שאלו הנער נעמד מול אביו ומורד בו, הוא זוכה לבוז וללגלוג, ועתה הוא נחוש לעזוב את היער ולחפש עתיד אחר. הוא נחוש לבנות את עתידו מחוץ ליער, הוא פונה לעיירה, אך היער מושך אותו בחזרה אל חיקו המסעיר כבמטה קסמים. אלה הם הימים של חיפושי הזהב, והזהב נמצא בנחלים שביער. שאלו רואה בכך הזדמנות, והנה הוא שב אל היער כבן היער וכמורה דרך המוביל את מומחה, הזהב שבא ממרחקים לגלות עורקים נסתרים. כשהמומחה, נואש ונפחד, מאיים על שאלו שיעמידו במקומו, שאלו עונה לו: "אינך יכול להחזיק אותי במקומי כי אני שרוי עכשיו במקומי שלי. היער הוא מקומי, אולי לא תמיד אני מסכים לזה, אבל זה מקומי".

שאלו עובד בחריצות על אנושית, בגפנו, לבדו בלב היער, אוגר גרגיר לגרגיר, ושלווה גדולה אופפת אותו. הוא פועל בתבונה ומצבו הולך ומשתפר. אך בשובו לעיירה הוא שוב מוקע כחוטב עצים נטול מעמד וזכויות. עליו לנתק מגע, לברוח ולהיעלם, הוא מפליג למרחקים ולומד את מלאכת נגרות האומן. כדרכו, בחריצות ובתבונה ובכבוד, אך שוב נכנס בו אי-שקט, והוא מוצא את דרכו חזרה אל בית הגידול שלו, אל היער. הוא נוכח שמחפשי הזהב מחריבים את היער, כורתים עצים והורסים את האדמה, תאוות הממון מעבירה אותם על דעתם, בפחדם מהיער הם מבראים אותו. מחשבה עמוקה עולה בראשו: "חוק היער. אותו החוק שעל פיו עולה אור יום, וכימה מהלכת במסילתה הקבועה לה, והירח מציית למופעיו, והשמש יודעת את דרכה בחורף ובקיץ, והגשם ניתן בעיתו... מקרקע היער ועד ראש העץ הגבוה מכל עץ, החוק הזה מתפעם בכל דבר כמין נשימה קצובה של הוויה כל יכולה. רק האדם לבדו מתהלך בלי חוק ביער, רק האדם לבדו דומה שהוא רשאי לעשות כרצונו, להשחית כרצונו, להאמין בשקרים מרובים ככל אוות נפשו".

הוא שמכיר כל עץ ועץ ביער נחרד למראה ההרס וההשחיתה, היער הפצוע זועק אליו ולא נותן לו מנוח. והוא, האיש ללא



# עצים ששווה להכיר

## אוסי בנימין

אוסי בנימין, אילנאית  
Trees@Osibenjamin.com

### גבירת השקמה מאשקלון

מהמופע העוצמתי של השקמה ניתן להבין את הסיבה לכינויים שהשקמים זכו להם בעת העתיקה: 'עין החוכמה', 'גבירת השקמה' ו'גבירת הנחשבים' (יהב, 2022).

בעיר אשקלון, בחורשה על טיילת יקותיאל אדם, ניצבת במלוא הדרה 'גבירת השקמה מאשקלון' (איור 1). זהו פרט חריג בגודלו ממין פיקוס השקמה (*Ficus sycomorus*).



איור 1

השקמה מאשקלון  
צילום: אוסי בנימין

השקמה נמצאת סמוך לכנסיות מהתקופה הביזנטית, שאשקלון נודעה בה כעיר מסחר חשובה (דן, 1980). 150 מטר דרומית לה נמצאת רצפת פסיפס, שריד מכנסייה ביזנטית מהמאה החמישית, במרחק 300 מטר שרידי כנסייה מפוארת אחרת. במרחק 500 מטר ניצב קבר השייח' עוואד מהתקופה הממלוכית (איור 2). מיקומה על דרך הים לצד מקומות קדושים מתקופות שונות מעיד על חשיבות האזור שצמחה בו.

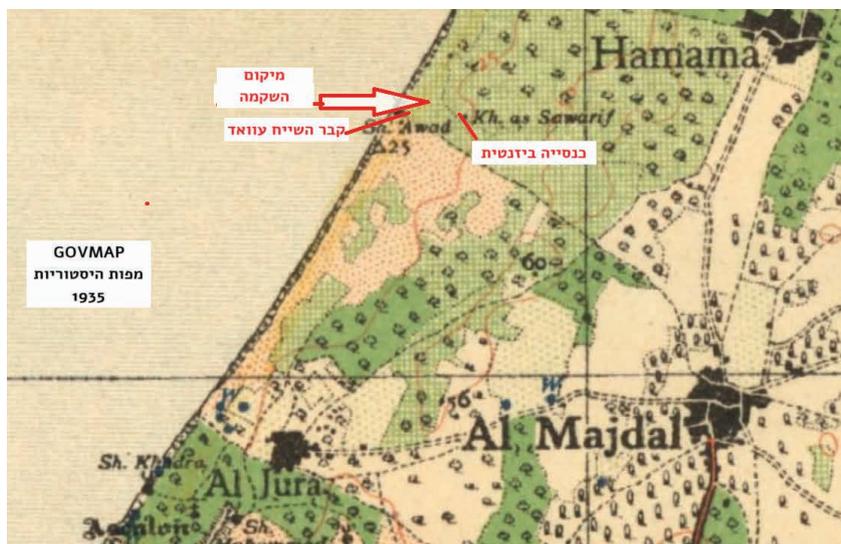
במפה מנדטורית משנת 1935 סומנו חורבות הכנסייה הביזנטית אל-סוואריף וקבר השייח' עוואד כמצויים בשטח חקלאי של היישוב חממה, שסומנו בו עצים למסחר. היעדר סימון לשקמה הצמודה לכנסייה בשטח החקלאי, מעיד על חשיבותה כעץ שאינו מיועד לצורכי מסחר (איור 3).

זוהי שקמה עתיקת יומין ואדירת ממדים, שחופתה מצילה על שטח של כחצי דונם. בעבר חסו בצילה העולים לרגל למקומות הקדושים הסמוכים לה, שיירות סוחרים וכן צבאות שעברו לצידה על דרך הים העתיקה (via Maris).

חופת הצמרת עגולה וצפופה, ושטחה כ-500 מ"ר. היקף הגזע 11 מטר, מתפצלים ממנו ארבעה ענפי שלד, שהיקף כל אחד מהם 3 מטר. מומחים תייגו אותה כאחת הגדולות והוותיקות בארץ (מנדל, 2022). גילה הוערך בין 700 ל-1,200 שנה ויותר (גלון, 2022). היא חיונית על פי העלווה והפגות. השקמים בישראל אינן עץ בר (דנין, 1990), הן ניטעו מייחורים זה אלפי שנים. אצל שקמים שניטעו בחול, רוב הגזע נסתר מהעין וקבור בחולות נודדים (יזרעאלי, 2025), ועם שינוי מפלס הקרקע השקמים מפתחות מערכות שורשים נוספות (אלמליח, 2025).



**איור 2**  
**מיקום השקמה, הכנסיות הביזנטיות וקבר השייח' בקרבתה כיום**  
 מבוסס על תצ"א מתוך המרכז למיפוי ישראל GOVMAP.



**איור 3**  
**מיקום השקמה ליד כנסייה ביזנטית וקבר השייח' מ-1935**  
 מבוסס על מפה מנדטורית 1:100,000 משנת 1935. המרכז למיפוי ישראל GOVMAP.

'גבירת השקמה מאשקלון' שרדה סערות ואירועי מזג אוויר קיצוני במהלך מאות שנים, חילופי עמים ושכטים ושיירות ודתות, עד הקמת מדינת ישראל, ודווקא מאז היא מאוימת ואינה זוכה להגנה. אני קוראת לבטל ייעוד מגורים לשלושה דונם בלבד עוד היום ולחבר אותם לגינה הציבורית ולטיילת. שקמה אדירה וקשישה זו איננה מתאימה להעתקה, שמחייבת השחתה של המבנה המיוחד שלה וקיצוץ ענפיה. יש לשמרה במקום שהיא נטועה בו כבר 1,000 שנה, לתת לה להמשיך להתרחב ולשגשג ולהעניק מטובה. אפשר ללמוד ממנה על חוסן וגמישות, על הכלה ותרבות ועל סבלנות וסלחנות אין קץ.

קישור למיקום השקמה במפות עמוד ענן:

<https://amudanan.co.il/#!wiki=P116384>

קישור למיקום השקמה ביישומון waze:

צבי סגל 72–83 אשקלון

<https://waze.com/ul/hsv8s68gdp>

בלהט תכנון העיר לצורך קליטת עלייה (גולן, 1996), משנות ה-50 ואילך, השקמה, כמו שאר העצים בעיר, לא זכתה להתייחסות. בשנת 1964 תוכננה שכונת ברנע, והשקמה נקלעה למגרש בייעוד מגורים הצמוד לשצ"פ. כל המגרשים בייעוד ציבורי ובייעוד מגורים נמסרו לניהול קק"ל.

למראית עין, נדמה שהשקמה האדירה נטועה בגינה ציבורית, כיוון שבפיתוח הגינה הועתקו עצי אשל וניטעו עצי זית גם בחלקות המיועדות למגורים (איור 4). לאחרונה הופקדה תוכנית חדשה לעיר, אך המגרש עודנו בייעוד מגורים, ועד היום השקמה אינה מצויה ברשימת האתרים המיועדים לשימור בעיר.

לאחר שנמצאה במקרה בדצמבר 2022, קבורה בפסולת ובערמות חול, גם ושיחים, תהו המומחים מדוע לא דווחה ולא תועדה בסקרי עצים עתיקים ולא בפרויקט עצי מורשת (גולן, 2022). לאחר ניקוי הפסולת נחשפה השקמה במלוא הדרה, ולמרות זאת אין בינתיים שינוי במצבה הסטטוטורי.



איור 4

### השקמה במלוא הדרה וייעודי הקרקע של החלקות

בכחול קווי גוש/חלקה. מבוסס על תצ"א של המרכז למיפוי ישראל GOVMAP.

## מקורות

דנין א. 1990. השקמה אינה עץ בר. **טבע וארץ**, 325, 28–31. ייב ד. 2022. **בעקבות עצי השקמה הנכחדים**. מהדורה מורחבת. תל אביב: מישב. יזרעאלי א. 2025. **איום הבינוי והתשתיות על עצי השקמה ופתרונות**. כנס עצי שקמה, קק"ל.

מנדל צ. 2022. **בחירת עץ השקמה באשקלון**. דו"ח חוות דעת מקצועית.

אלמליח ד. 2025. **העתקת פיקוס השקמה חולון**. כנס עצי שקמה, קק"ל. גולן א. 1996. עיונים בתקומת ישראל. כרך 6. בתוך: פנחס גנוסר (עורך). **אשקלון: אכלוס המרחב הנושן ותכנונה של עיר פיתוח מוקדמת**. המרכז למורשת בן-גוריון, קריית שדה בוקר: הוצאת הספרים של אוניברסיטת בן-גוריון בנגב. עמ' 226–229.

גולן י. 2022. **חוות דעת על פיקוס השקמה באשקלון**. דו"ח חוות דעת מקצועית. דן י. 1980. **הסחר הבין-לאומי של ארץ-ישראל בתקופה הביזנטית**. מאמר לכנס חוקרים, יד בן-צבי.

ancient systems played a crucial role in mitigating desertification and preserving biodiversity. However, these valuable archaeological resources are facing accelerated degradation due to both natural processes and human activities, including infrastructure development, overgrazing, and vandalism. This degradation exacerbates soil erosion and threatens the ecological balance. Acknowledging the impracticality of declaring all terrace sites to be protected antiquities due to their extensive distribution, this study focuses on developing a comprehensive protocol for their conservation and restoration. The study's core objectives are: 1) mapping ancient agricultural activity centers; 2) developing terrace conservation tools; and 3) developing terrace restoration tools. Mapping efforts identified approximately 120,700 dunams of agricultural systems, of which 58% are in unprotected areas. These unprotected areas were prioritized and ranked (high, medium, low priority) for restoration based on diverse cultural and ecological criteria. Existing conservation and restoration practices of organizations such as KKL-JNF, the Israel Antiquities Authority and the Nature and Parks Authority were analyzed to enable the formulation of practical guidelines and recommendations applicable to both public and private projects, ultimately aiming to raise public awareness and minimize further damage to these crucial historical and ecological assets.

### ■ Investigating changes in food webs and their importance for open-space management in an era of climate change

Yigal Granot<sup>1\*</sup>, Sol Brande<sup>2</sup>, Moshe Shachak<sup>2</sup>

Climate change affects the stability and functioning of ecosystems worldwide, driving substantial shifts

in the composition and dynamics of food webs. Extreme events, such as droughts and heat waves, may cause the extinction of keystone species, alter biotic interactions, and promote the establishment of invasive species, processes that directly influence ecosystem functioning.

This article combines empirical research with theoretical considerations and highlights practical implications. The empirical component focuses on the impacts of climate change on food webs in desert open spaces. This was examined through extended monitoring of keystone species populations, climate trend analysis, and assessments of food web changes. Studies conducted between 1973 and 2020 demonstrated that the extinction of the desert keystone species, the desert isopod *Hemilepustus reaumuri*, led to a significant decline in the population density of its main predator, the scorpion *Scorpio maurus palmatus* and facilitated the invasion of the Israeli scorpion *Buthus occitanus israelis*.

These findings support theoretical models suggesting that climate change reshapes food webs through three main mechanisms: (1) direct species extinctions, (2) secondary extinctions of populations dependent on the lost species, and (3) rewiring of food-web interactions following the establishment of new species.

The implications of this study for open-space management point to the need for early identification of ecological drought sensitive key species in the food web, monitoring of different population across trophic levels, and the use of food-web-based approaches in ecological management. Understanding food web dynamics in desert open spaces which are simpler than those of more mesic ecosystem can guide the development of management strategies to confront climate change modulation of food webs and prevent functional collapse of open spaces and other ecosystems.

<sup>1</sup> The Interdisciplinary Center, Midreshet Sde Boker

<sup>2</sup> The Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev

\* yigalg.boker@gmail.com

## English Abstracts

### ■ The study of *Pinus brutia* x *Pinus halepensis* hybrids in Israel's planted forests and their implications for forest regeneration

Naomi Houminer<sup>1\*</sup>, Yagil Osem<sup>1</sup>, Joseph Rivov<sup>2</sup>, Rakefet David-Schwartz<sup>1</sup>

*Pinus halepensis* (Aleppo pine) is a native Israeli species and was the main species used for afforestation in the country from the end of the British Mandate until the 1970s. Since then, it has gradually been replaced with *Pinus brutia* (the Turkish pine) due to the latter's resistance to the Israeli pine bark scale insect (*Matsucoccus josephi*). When the two species grow side by side, natural hybrids are formed between them; however, the scope of this phenomenon and its impact on forests in Israel have not yet been thoroughly studied.

The proportion of hybrids in planted stands of Turkish pine (the first forest generation) ranges from 2.5% to 9%, and the trees display more vigorous growth compared to neighboring Turkish pines, especially in semi-arid regions.

The proportion of hybrids was also studied in naturally regenerating Turkish pine stands. About 5% of the seeds from mother trees were found to be hybrids. In seedlings at the end of their first winter after germination, the proportion of hybrids was about 8%, and among those that survived their first summer it increased to about 22%. This increase suggests a survival advantage compared

to Turkish pine seedlings.

To test this hypothesis, controlled experiments were conducted comparing morphological and anatomical traits, and water-balance indicators in seedlings of Turkish pine, Aleppo pine, and their hybrids. The results showed that hybrids express combined characteristics of both parents, which may grant them certain advantages in growth rate and survival.

This study demonstrated that hybridization in Israel's coniferous forests is a significant phenomenon, with the potential to increase diversity and possibly even improve forest resilience. Furthermore, reciprocal hybridization across successive generations may enable bidirectional gene flow, thereby enriching genetic variability and contributing to the forest's resilience to the impacts of climate change.

### ■ Ancient agriculture in the Negev: Identification, mapping, and development of tools for conservation and restoration

Shai Scharfberg<sup>1\*</sup>, Rona Winter-Livneh<sup>1</sup>, Ya'ara Rosner<sup>2</sup>, Guy Shelef<sup>3</sup>, Yoav Avni<sup>4</sup>, Uri Ramon<sup>1</sup>

Ancient agricultural systems, evidenced by thousands of remnants such as terraces and other types of water management structures, are prevalent across the Negev desert, dating primarily to the Roman and Byzantine periods. These

1 Institute of Plant Sciences, ARO, Volcani Center, Bet Dagan

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

3 KKL-JNF, Southern Region Forestry

\* naomiho@kkl.org.il

1 Open Landscape Institute (OLI), Steinhardt Museum of Natural History, Tel Aviv University

2 School of Architecture, Shalom College of Engineering

3 Shelef, Matalon - Landscape Architects Ltd.

4 Geological Survey of Israel

\* scharfberg@tauex.tau.ac.il



# FOREST

Journal of Forests  
and Open Lands  
Management

Issue No. 29 | December 2025

Editor:

Dr. Anat Madmony

Editorial Council:

Dr. Anat Madmony

Dr. Gilad Ostrovsky

Dr. Shani Rohatyn-Blitz

Editorial Board:

Dr. Oded Cohen

Dr. Rakefet David-Schwartz

Dr. Niv De-Malach

Aviv Eisenband

Avigail Heller

Asaf Karavani

Dr. Tamir Klein

Dr. Idan Kopler

Dr. Doron Markel

Prof. Zvi Mendel

Adi Noy Ivanir

Dr. Daniel E. Orenstein

Dr. Yagil Osem

Dr. Gilad Ostrovsky

Dr. Yakir Preisler

Uri Ramon

Dr. Shani Rohatyn-Blitz

Dr. Hila Segre

Prof. Efrat Sheffer

Dr. Orit Skutelsky

Dr. Michael 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 Lelsrael

Jewish National Fund

Land Development Authority

Chief Scientist

Publication Unit, Public Affairs

© Copyright

ISSN

2957-7403 (print)

2957-739X (internet)

Forest Journal Online access:

**[www.kkl.org.il/forest-online-journal](http://www.kkl.org.il/forest-online-journal)**

KKL-JNF

**[www.kkl.org.il](http://www.kkl.org.il)**

For more information

**1-800-350-550**

Front cover:

Neta Komornik, View of the forest and valley between

Kibbutz Alonim and Tivon

Gouache, April 2025



# TABLE OF CONTENTS

---

## Editorial 3

Gilad Ostrovsky

## ■ Original Articles

### The study of *Pinus brutia* x *Pinus halepensis* hybrids in Israel's planted forests and their implications for forest regeneration 5

Naomi Houminer, Yagil Osem, Joseph Riov, Rakefet David-Schwartz

### Ancient agriculture in the Negev: Identification, mapping, and development of tools for conservation and restoration 16

Shai Scharfberg, Rona Winter-Livneh, Ya'ara Rosner, Guy Shelef, Yoav Avni, Uri Ramon

### More species but fewer specialists: The impact of low-density afforestation with native trees on bird communities 24

Daniel Idan, Niv DeMalach, Hila Segre

## ■ Reviews

### Investigating changes in food webs and their importance for open-space management in an era of climate change 34

Yigal Granot, Sol Brand, Moshe Shachak

## ■ From the Field

### Tool kit for studying the history of ancient olive trees 42

Roi Porat, Tamer Mansour, Elad Ben Dor, Oz Barazani, Itay Mayrose, Ronen Shtein, Ayala Noy Meir, Meirav Meiri, Galina Faershtein, Dafna Langgut, Rabei Khamisy, Kate Raphael, Eliezer Baumgarten, Roee Shafir, Mika Ullman, Elisabetta Boaretto, Gideon Avni, Guy Bar-Oz

### Hydrobiology survey in the Judean Mountains springs, 2023 51

Ariel Cohen, Eldad Elron, Lavie Coren, Dina Fiman

## ■ Short Notes

### Symposium on the sycamore fig in Israel – a review 59

Hanna Lev

### Nahal HaShofet Park – A managed forest park focusing on visitor experience and community engagement 61

Yotam Reshef, Noa Shatil

## ■ A Forest of Books

### Circles in a Forest by Dalene Matthee, 1984 64

Gilad Ostrovsky

## ■ Know Your Trees

### The sycamore lady from Ashkelon 66

Osi Benjamin

## ■ English Abstracts III



# FOREST

Journal of Forests  
and Open Lands  
Management

Issue No. 29 | December 2025

