



כתב-עת
לניהול יערות
ושטחים פתוחים

יער

גיליון 25 | דצמבר 2023 | טבת תשפ"ד





תוכן עניינים

34	ניתוח משטר הגשם בצפון הנגב שמאל ארבל, משה גטקר, יצחק משה, מוטי שריקי	3	בפתח הגיליון יפעת עובדיה-לוסקי
42	צרכים וביקושים של מבקרים מהחברה הערבית באגמון החולה נרית קורן-לורנס, נגה קולינס-קריינר	4	משולחנו של מנהל אגף הייעור גלעד אוסטרובסקי
	יער של ספרים		מאמרי סקירה
51	גידול עצי יער ויערות ישראל, ארץ של ספר מדבר חנוך צורף, אבי פרבולוצקי		כושר ההתאוששות של עצי אורן ירושלים מתקופות חום ויובש כתלות במשך העקה בעונה היבשה 5 איתי עוז, יונתן מולר, פיודור טטרינוב, יקיר פרייזלר, איל רוטנברג, ז'וזה גרינצוויג, דן יקיר
	אז והיום		הדגמת עקרונות אקו-הידרולוגיים על מדבר צחיח
53	ניטור ארוך טווח של דילול זריעים באמצעים מכנים וידניים בכרמל כליל אדר	16	קיצון בתחנת רמון למחקר אקולוגי ארוך טווח אלי גרונר, נעמי ברדה סווידרסקי, נעם גנץ, אריאל מרוז, מאור טיקוצ'ינסקי, יפתח דבש, דיאנה סופיה גליאנו, צביה אפרתי, אבשלום באב"ד
	עצים ששווה להכיר		נוכחות מכלואים בין שיטה סלילנית לשיטת הנגב
55	אלון התולע בבית אל חגי יבלוביץ'	24	בנחל שיטה תום שיפריין, עדי פיינגבוים, גלעד רייספלד, ניצן שגב, בני שלמון, נעמי הומינר, רתם אטיאס, ענבל פיפמן, סימה קגן, גלינה שקלאר, אלי גרונר, ליאור אשד-וויליאמס, רקפת דוד-שורץ
III	תקצירים באנגלית		



יער

כתב-עת
לניהול יערות
ושטחים פתוחים

גיליון 25 | דצמבר 2023 | טבת תשפ"ד

עורכת:

ד"ר ענת מדמוני

ועדת העורכים:

ד"ר גלעד אוסטובסקי

ד"ר ענת מדמוני

ד"ר שני רוהטין-בליץ

חברי המערכת:

ד"ר גלעד אוסטובסקי

פרופ' דניאל אורנשטיין

ד"ר יגיל אסם

ד"ר עמרי בונה

פרופ' מני בן-חור

ד"ר ארז ברקאי

ד"ר רקפת דוד-שורץ

אביגיל הלר

פרופ' דן יקיר

פרופ' צביקה מנדל

ד"ר דורון מרקל

עדי נוי איוניר

ד"ר מיכאל ספרינצין

ד"ר אורית סקוטלסקי

ד"ר עידן קופלר

ד"ר תמיר קליין

אסף קרואני

ד"ר שני רוהטין

פרופ' יוסי ריוב

אורי רמון

פרופ' אפרת שפר

עריכת לשון ותוכן:

ענבר קמחי-אנגרט

תרגום לאנגלית:

ד"ר אסתר לחמן

עיצוב גרפי:

אורית ישעיהו

כתובת המערכת:

"יער"

קרן קימת לישראל

Yaar.magazine@kkl.org.il

הוצאה לאור:

קרן קימת לישראל

מנהל פיתוח הקרקע

אגף הייעור

היחידה לפרסומים, קשרי ציבור

© כל הזכויות שמורות

ISSN

2957-7403 (בדפוס)

2957-739X (באינטרנט)

אתר כתב העת "יער באינטרנט"

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

אתר קק"ל באינטרנט

www.kkl.org.il

לפרטים ולהרשמה לאירועים ביערות ובאתרי קק"ל:

קו ליער: 1-800-350-550

כריכה קדמית:

יער שובל, ינואר 2016. מראה אופייני של שטחים פתוחים בנגב המערבי –

שטחים חקלאיים משובצים בשטחי יער.

ביער שובל, בתחום מועצה אזורית מרחבים, זורם נחל צידה, שהוא יובל

של נחל גרר.

היער ניטע בשנת 1998 במינים שונים של עצים רחבי עלים בשיטות שימור

קרקע וקציר מי נגר. השימוש בשיטות האלה מונע סחיפה ואובדן קרקע.

צילום: אלבטרוס צילומי אוויר, עבור קק"ל



בפתח הגיליון

חשוב לנו שהציבור יכיר גם את הצדדים המדעיים של ניהול היער, ויבין באופן מעמיק יותר את המטרות והמדיניות שלנו המתבססות על מחקר ענף וארוך שנים.

הגיליון הנוכחי ממשיך את קודמו, ומאגד בתוכו מאמרים בנושא מחקר וניטור אקולוגי ארוכי טווח. המאמרים מציגים תובנות חשובות לליבת העשייה בקק"ל בפועלה לייעור ולשיקום השטחים הפתוחים בישראל.

אני בטוחה ששוחרי היער הרבים ימצאו בגיליון הנוכחי עניין, שיספק להם הפוגה קצרה ממוראות השעה ואפשרות לנטיעת תקווה לימים שלווים וטובים יותר.

בימים אלה אנו רואים את רוח ההתנדבות ואהבת הארץ. הציבור כולו מתייצב לצד היישובים שנפגעו ופועל לסייע להם, לצה"ל ולכוחות הביטחון, וכך גם קרן קימת לישראל.

בעוד כולנו אוחזים יחד במאמץ משולב לסייע ולהחזיק את השגרה בצד מצב החירום, כתב העת שלנו, "יער ושטחים פתוחים", במה מקצועית אקדמית, מתפרסם גם בימים אלה. גיליונות יער מתפרסמים מדי חצי שנה, ואנו רואים חשיבות רבה להמשיך במלאכה זו בשם התקווה לימים טובים יותר.

לקיום היערות יש ערך רב בשגרה, ויהיה להם ערך רב עוד יותר בריפוי החברה הישראלית כמקום מרגוע וכמרחב להפוגה. בכוחו של הטבע להזכיר לנו את היכולת להבריא ולקום מחדש.

יפעת עובדיה-לוסקי
יושבת ראש קק"ל

משולחנו של מנהל אגף הייעור

הנגב, והנתונים המוצגים בו הם בעלי ערך ועניין רב. תוצאות המחקר מלמדות ש"מתחילת המדידות ועד לשנת 2021 אין מגמת הפחתה או הגדלה של כמויות הגשם השנתיות, הסופתיות והיומיות בצפון הנגב. לא נמצאו מגמות לשינוי במועדי התחלה וסוף של עונת הגשמים". עם זאת, המחקר מציג נתונים בדבר קשר בין שנים שחונות והתייבשות עצים ברחבי צפון הנגב. מחקר שערך השירות המטאורולוגי הישראלי צופה שהחל ממחצית המאה ה-21 תהיה עלייה ברצף השנים השחונות לצד שינוי במאפייני הגשמים: השטח המומטר בסופות יהיה קטן יותר, עוצמתן תגדל, משכן יקטן, וכמות המשקעים הכוללת תפחת בכשלושים אחוזים. לתחזית זו השלכות על התכנון והממשק היעירני לקיום העצים ולצמצום הסחף ושימור הקרקע.

מחקר זה ואחרים מהווים דוגמה טובה לחשיבות הניטור ארוך הטווח ולצורך בהקצאת משאבים לאורך שנים. עלינו, אנשי מערך הייעור בקק"ל, להכיר היטב את הנתונים, ללמוד ולעבד אותם, באופן שיספקו לנו מידע חיוני בעיצוב ניהול היער בישראל.

אני מקווה שקריאת הגיליון תעשיר את רוחכם, ותפיח בכם מרץ ונכונות לקראת הימים הבאים.

חזק ואמץ



גלעד אוסטרובסקי
היערן הראשי ומנהל אגף הייעור

בעודי כותב שורות אלה, ימים אחרונים של אוקטובר 2023, ישראל שרויה במלחמה שהחלה ביום הדמים הנורא, בשבת 7 באוקטובר. כולנו עומדים המומים נוכח השנאה המטורפת של החמאס, הזוועות והטבח שחוללו ביישובי הנגב המערבי. ההלם והזעם לא מרפים, הצער והעצב העמוק כובשים את החיים ולא נותנים מנוח.

בזמנים כאלה, כאשר החיים משתבשים לחלוטין, החוסן החברתי הוא מבחננו הגדול. כל אחד תורם את חלקו לפי מקומו ויכולתו ולפי תפקידו, מי בשדה הקרב, ומי בעורף. בימים כאלה מוטל עלינו גם להחזיק את "השגרה", לאחוז בדברים המוכרים והיפים של החיים, להמשיך ולקיים את חובתנו, למצוא כוח ונחמה במעשי ידינו.

כתב העת 'יער', היוצא לאור בכל שישה חודשים, הוא מעין תחנה חגיגית בזמן. פעמיים בכל שנה מונח בפנינו הגיליון, והוא מלא כל טוב. 'יער' נותן ביטוי לעבודה הנמשכת על פני כל השנה, ולמחקרים רבים, שחלק מהם נמשכים עשרות שנים. הגיליון הנוכחי ממשיך את הגיליון הקודם שעסק בניטור ארוך טווח, ומוסיף עליו עוד מספר מאמרים, רובם באתרי מחקר בנגב, עם זיקה מובהקת למשטר הגשמים ולשינוי האקלים.

אני מבקש להפנות את תשומת לב הקוראים למאמר של שמואל ארבל וחבריו שעוסק בניתוח משטר הגשם בצפון הנגב. מאמר זה מסכם למעלה משלושים שנות מדידה בצפון



כּוּשֵׁר הַהִתְאֻשְׁשׁוֹת שֶׁל עֲצֵי אֹרֶן יְרוּשָׁלַיִם מִתְקוּפּוֹת חוּם וְיֹבֵשׁ כְּתֻלּוֹת בַּמִּשְׁךְ הָעֵקֶה בַּעֲוֹנַת הַיִּבְשָׁה

איתי עוז^{1,2*} | יונתן מולר¹ | פיודור טטרינוב¹ | יקיר פרייזלר^{2,1} | איל רוטנברג¹

ז'וזה גרינצוויג² | דן יקיר¹

- 1 המחלקה למדעי כדור הארץ וכוכבי הלכת, מכון ויצמן למדע
- 2 הפקולטה לחקלאות, תזונה וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים
- * ozitaioz@gmail.com

תקציר

הפעילות והעקה העונתיים ולהעריך את הקשרים ביניהם. התוצאות הראו שהמחזור העונתי של האידוי-דיות קשור לזה של תכולת המים בקרקע, אך המחזור העונתי של פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים קשורים לזה של גירעון לחץ אדי המים באטמוספירה. היציאה מהעקה שנגרמה בגלל גירעון הלחץ באדי המים באטמוספירה קדמה ליציאה מהעקה של תכולת המים בקרקע, מה שתרם לעמידות של המערכת האקולוגית. מסיבה זו יעילות השימוש במים בסתיו הייתה גבוהה. תוצאות המחקר הראו שתהליכי ההתאוששות מעקה הנובעת מיובש הקרקע שונים מאלה של התאוששות מעקה הנובעת מיובש האוויר. התוצאות מצביעות על המורכבות בתהליכי ההתאוששות מעקה, שהם מרכיב קריטי ביכולת ההישרדות של היערות לנוכח שינוי האקלים הצפוי באזורנו, ועל החשיבות בהבחנה בין שינויים במשקעים ובין אלה המשפיעים על הלחות האטמוספירית.

האקלים העתידי באגן הים התיכון צפוי להיות חם יותר ויבש יותר, ועל כן יערות באזורים צחיחים למחצה באזור זה מייצגים מערכות אקולוגיות שנמצאות בסיכון גבוה. עם זאת, רבים מהגורמים המשפיעים על התאוששות עצים מתקופות עקה אינם ידועים. שני גורמי העקה הסביבתיים העיקריים ביער צחיח למחצה הם יובש קרקע (תכולה נמוכה של מים בקרקע) ויובש אטמוספרי (גירעון לחץ אדי מים גבוה). אנו מעריכים את ההשפעה שיש למשך המשתנה של שני הגורמים הללו על ההתאוששות והעמידות של הפעילות הפיזיולוגית, קרי, פוטוסינתזה נטו, אידוי-דיות ומוליכות הענפים לאדי מים. התמקדנו בקשרים בין המחזור העונתי של גורמי העקה הסביבתיים והסמנים הפיזיולוגיים המזכירים לעיל. המחקר נועד לזהות את המרכיבים המרכזיים המשפיעים על ההתאוששות של עצי יער בוגרים מתקופות העקה הממושכות שיערות באזורים יובשניים נחשפים אליהם.

המחקר נערך ביער יתיר על סף המדבר (כמות גשם שנתית ממוצעת 290 מ"מ) שגודלו כ-30,000 דונם, ונטועים בו בעיקר עצי אורן ירושלים בני כ-55 שנה שנחשפים לתקופות עקה עונתיות ארוכות. השתמשנו במערכת אוטומטית של תאי ענף כדי למדוד חילוף גזים בעלים של עצי אורן, וכן מדדנו באופן רציף שינויים בגירעון לחץ אדי המים ובתכולת המים בקרקע. הנתונים נותחו כדי להבחין בין שלבים שונים במחזורי

מילות מפתח

חילוף גזים, יובש אטמוספרי, יובש קרקע, ייעור, יצרנות ראשונית, עקת חום, עקת יובש, שינוי האקלים, תמותת עצים

מבוא

(Klein, 2020). כמו כן, זהו אחד מיערות האורנים היבשים ביותר בעולם, ומדד היובש שלו (כמות המשקעים מחולקת בפוטנציאל האידוי-דיות, AI, בסקלה של 0 עד 1, כשהערך 0 מעיד על מדד יובשנות מרבי) עומד על 0.22 (Amer, 2020).

עובדה זו מאפשרת לנו לחקור את השפעת אורך תקופת העקה על העמידות של העצים בתנאים קיצוניים, שצפויים להתפתח גם באזורים נוספים בעולם בשל שינוי האקלים. נוסף על כך, התנאים הטבעיים ביער הם תקופה יבשה ארוכה ומוגדרת ללא גשם ולאחריה תקופת גשם. נוסף על כך, אין ביער מי תהום זמינים לעצים, ולמעשה המים היחידים הזמינים לעצים הם מי גשמים בעונה. עובדה זו מאפשרת בחינה ארוכת טווח של הגורמים המשפיעים על העמידות לעקות יובש וחום בעצים בוגרים. זאת ועוד, יער יתיר הוא גם חלק מרשת LTER (Long Term Ecological Research) וכן חלק ממערכת המחקר העולמית FLUXNET (Grünzweig et al., 2003) הכוללת רשת תחנות שמודדות חילופי גזים ברמת המערכת האקולוגית.

המחקר שנערך ביער יתיר בין השנים 2018 ו-2022 נועד לזהות את ההשפעה של משך העקות השונות על התאוששות של עצי יער בוגרים מתקופות העקה הממושכות שהיערות באזורים יובשניים נחשפים אליהם. התאוששות יעילה מתקופות עקה ארוכות היא יכולת חשובה בהינתן שינוי אקלים מתמשך, ולמרות זאת, הגורמים המשפיעים על תהליך ההתאוששות אינם מוכרים בצורה מספקת (Schwalm et al., 2017). מחקרים שנערכו עד כה על התאוששות עצים בחנו שתילים צעירים של אורן בתנאים מבוקרים (Birami et al., 2018). אי לכך, ההערכה הנוגעת להתאוששות בתנאים אמיתיים בשדה לוקה בחסר (Lloret et al., 2011; Serra-Maluquer et al., 2018).

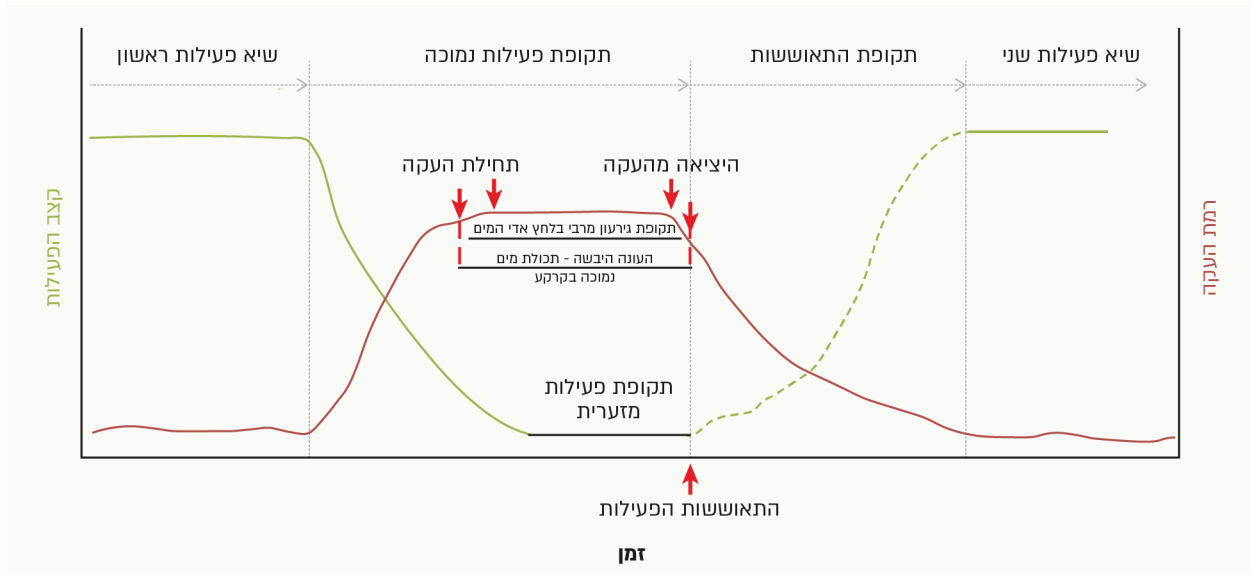
במחקר זה בחנו בתנאי שדה התאוששות של עצי אורן ירושלים לאחר עקה והשתמשנו בגישה חדשה כדי להעריך ולכמת את התצפיות מהשדה. כימתנו באופן נפרד את המחזוריים השנתיים של שני גורמי העקה העיקריים, יובש קרקע (תכולת המים בקרקע, SWC – Soil Water Content) ויובש אטמוספרי (VPD). במקביל מדדנו גם את המחזור השנתי של חילוף הגזים בעלה (LGE – Leaf Gas Exchange) הכולל פוטוסינתזה נטו (Anet), אידוי-דיות (E) ומוליכות הענפים לאדי מים (gb), מוליכות גבוהה מאפשרת קיבוע של יותר פחמן דו-חמצני).

כימות נפרד של העקה הסביבתית ושל הפעילות הפיזיולוגית מתאפשר על בסיס ההגדרות הבאות (איור 1):
1. 'תקופת פעילות מזערית' (MAP – Minimal Activity Period) היא התקופה שבה ערך הפעילות של הפרמטרים

30% מפני השטח היבשתי בכדור הארץ מכוסים ביערות (Bonan, 2008; Dangel, 2016). כיום מעריכים ש-18% מפני השטח היבשתי צחיחים למחצה. החשיבות העולמית, שיש ליערות באזורים צחיחים ולשירותי המערכת האקולוגית שהם מספקים, מבוססת היטב (Rotenberg and Yakir, 2010; Griffith et al., 2017). שטחים צחיחים למחצה הם גם עתודות הקרקע הגדולות ביותר לייעור וללכידת פחמן, אך מימוש הפוטנציאל הגלום בהם כרוך בקשיים מסוימים (Rohatin et al., 2022).

המאפיינים העיקריים של שינוי האקלים שמשפיעים על מערכות אקולוגיות יבשתיות הם עלייה בטמפרטורה ושינוי במשטר המשקעים. לפי התחזיות, אזורים נרחבים על פני כדור הארץ, כולל האגן המזרחי של הים התיכון, ייעשו חמים יותר ויבשים יותר בעשורים הקרובים (IPCC, 2018). לפי המודלים, לירידה החזויה במשקעים יש תבנית ברורה של הפחתת משקעים בתחילתה ובסופה של העונה הגשומה (Ziv et al., 2014). תבנית זו תאריך את התקופות היבשות המלוות בטמפרטורות גבוהות, ועל כן תביא לתקופות ארוכות יותר של יובש קרקע גבוה במקביל לגירעון גבוה בלחץ אדי המים (VPD – Vapor Pressure Deficit), שמכונה לעיתים יובש אטמוספרי. ככל שערך זה גבוה יותר, המשמעות היא שהאוויר יבש יותר, ושיש מחסור באדי מים באוויר. בעקבות זאת, חלון ההזדמנויות שיש לעצים להטמעה יעילה של פחמן, שחיונית לגדילה ולהשרדות, ילך ויצטמצם (Väänänen et al., 2020). מחקר שנערך ביער יתיר ב-2015 הראה שבסוף העונה היבשה שטפי הפוטוסינתזה והנשימה נמוכים, ולפחות חלק מהסיבה לכך נעוץ ברמה נמוכה של מאגרי פחמן ברקמות העץ (Klein and Hoch, 2015). כלומר, הארכה של העונה היבשה עלולה להוביל לכשל הידראולי (פגיעה במערכת הובלת המים של העץ) או להתדלדלות של מאגרי הפחמן שתוביל לתמותה דרך "הרעבה". לעצים שגדלים באזורים צחיחים למחצה יש התאמות מסוימות לחלון הזדמנויות עונתי צר (Wang et al., 2020), כגון התאוששות מהירה ויעילה בסוף תקופת העקה. התאמות כאלה קריטיות במיוחד להשרדותם של עצים באזורים צחיחים למחצה, שחווים כבר עתה חלון הזדמנויות מצומצם לקיבוע יעיל של פחמן.

כדי לחקור בתנאי שדה את ההתאוששות והעמידות לאחר עקה בשל יובש קרקע ובשל יובש אטמוספרי נעזרנו בתחנת המחקר ארוך הטווח ביער יתיר. יער יתיר הוא אתר מחקר המשמש מודל של יער באזור צחיח למחצה. העץ השכיח ביער הוא אורן ירושלים (*Pinus halepensis*), אחד ממיני העצים הנפוצים ביותר באזור הים תיכוני היבש



איור 1

תיאור סכמטי של מחזורי הפעילות והעקה ושילביהם השונים

א. שיא פעילות בשנה מסוימת (שיא פעילות ראשון); ב. תקופת פעילות נמוכה. תקופת עקה שבמהלכה נרשמות תקופות פעילות מזערית במשנתים השונים של חילוף הגזים בעלה (קו שחור); ג. תקופת ההתאוששות (קו ירוק מקווקו); ד. שיא פעילות שני.

שנבחנו היה הנמוך ביותר. 2. 'תקופת ההתאוששות' מתחילה בנקודת 'התאוששות הפעילות' ומאופיינת בעלייה בקצב של הרכיבים השונים של חילוף הגזים. 3. 'תקופת שיא הפעילות' היא המועד שמתרחש בו שיא הפעילות הפיזיולוגית (אחוזון 90 של הפעילות). 4. לאחר מכן השפעות העקה מצטברות, הפעילות הפיזיולוגית פוחתת, ואז מגיעה 'תקופת פעילות נמוכה' שמובילה ל'תקופת הפעילות המזערית' של העונה הבאה. 5. הגדרנו גם מתי העצים מתחילים לחוות עקה מיובש הקרקע ומתי מהיובש האטמוספרי ('תחילת העקה'), וכן מתי שיא העקה הסביבתית מסתיים ('היציאה מהעקה').

שיטות

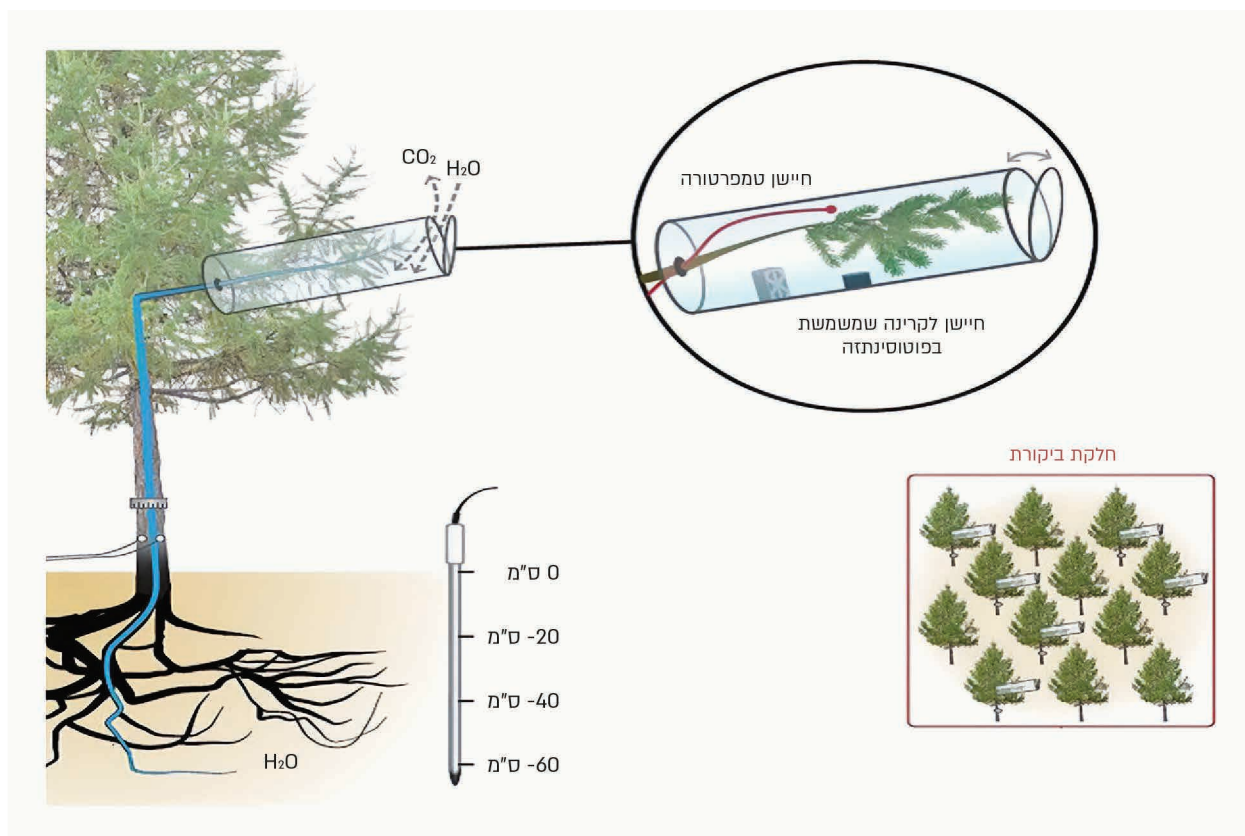
אתר המחקר

המחקר נערך ביער יתיר שנמצא בצפון הנגב (להרחבה על אתר המחקר ראו Wang et al., 2020). לפי נתונים מהשנים 1970–2018, ממוצע המשקעים השנתי באזור הוא 279 ± 90 מ"מ, והאידי-דיות השנתי הפוטנציאלי עומד על 1,600 מ"מ (Preisler, 2019). מדד היובש (AI) נמוך, ועומד על 0.22 (Amer, 2020), כלומר רק 22% מכמות המים שהמערכת האקולוגית זקוקה לה מסופקים על ידי המשקעים. האזור שהיער נמצא בו מאופיין בעונה יבשה ארוכה, ובה 200–340 ימים רצופים ללא גשם. במהלך העונה היבשה ממוצע

מערך הניסוי
מדדנו חילוף גזים ברמת הענף באתר המחקר, וכן מדדנו באופן רציף את תנאי הסביבה, ולשם כך השתמשנו בשבעה תאים (איור 2). התאים נבנו בהזמנה מיוחדת כך שיעמדו בתנאי השדה, (Pumpanen et al., 2009; Bamberger et al., 2017). בכל אחד מהתאים במרכז חופת העץ, בערך בגובה 6 מטר, היו ארבעה ענפונים. התאים מוקמו על עצים מייצגים מבחינת גיל, גודל ומצב פיזיולוגי.

משתנים סביבתיים

1. מדדנו את נפח המים בקרקע (למעשה כמות המים ליחידת קרקע) לאורך פרופיל הקרקע. החל מפני הקרקע עד לעומק של 60 ס"מ. כל 15 ס"מ הוצב חיישן (סך הכל 4 חיישנים) (PR2/6, Delta T Devices, London, England). כדי לייצג בצורה הטובה ביותר את זמינות המים לעצים השתמשנו בממוצע תכולת המים בקרקע בעומק של 10–40 ס"מ, שמצוי בו חלק גדול מהשורשים (Preisler et al., 2019).



איור 2

חלקת הביקורת בניסוי

במאמר מובאות תוצאות ממדידות של חיישנים לקביעת פרופיל לחות הקרקע ומתאי מדידה של חילופי גזים ברמת הענף. בניסוי נערכו מדידות גם על חלקות נוספות, שאינן נידונות במאמר זה.

הנפחית (כמות מים לכמות קרקע) שמתחתיו העצים אינם יכולים לקלוט מים מהקרקע – 16.1% (Klein et al., 2014). כדי לקבוע את מועדי ההתחלה והסיום של העקה הנגרמת מגירעון בלחץ אדי המים קבענו כנקודת התייחסות את ממוצע הגירעון בלחץ אדי המים בקיץ ברצף של 60 הימים עם הערך הגבוה ביותר, כלומר זיהינו את התקופה היבשה ביותר. השתמשנו בערך זה כדי לקבוע מתי מתחילה ונגמרת תקופת שיא העקה שנגרמת מהיובש האטמוספרי.

פרמטרים של פעילות

1. תקופת הפעילות המזערית, בה כל אחד מהמדדים הפיזיולוגיים שנבחנו הוא הנמוך ביותר, חושבה בנפרד עבור כל משתנה של חילוף גזים – פוטוסינתזה נטו, אידוי-דיות ומוליכות של הענפים לאדי מים. אורכה נקבע לפי המרווח בין היום הראשון לאחרון בתקופת הפעילות המזערית כמוסבר באיור 1.
2. 'זמן ההתאוששות' הוגדר כמספר הימים שחלפו בין 'ציאה מהעקה' ובין 'התאוששות הפעילות'.
3. קצב ההתאוששות (Rr) הממוצע בתקופה שבין

2. מדדנו את טמפרטורת האוויר קרוב ככל האפשר למחטים בצורה רציפה בכל תאי הענף בעזרת צמידים תרמיים מסוג T בהזמנה מיוחדת (Copper/Constantan, REOTEMP Instrument Corporation, San Diego). חישבנו את גירעון לחץ אדי המים (המשקף את יובש האוויר כמותית ולמעשה משקף את השפעתו על האידי מהצמחייה) בעזרת טמפרטורת האוויר וריכוז אדי המים לפי המשוואה הבאה:

$$VPD = es - el \tag{1}$$

כאשר es הוא לחץ חלקי של אדי המים במצב של היווצרות טל, ו-el הוא לחץ חלקי של אדי מים באוויר סביב העלים.

פרמטרים של עקה

כדי לזהות את ההשפעה של גורמי העקה הסביבתיים על התאוששות חילוף הגזים ברמת הענף ועל הפעילות לאחר תקופת שיא העקה (איור 1) בחנו בנפרד את השפעת יובש הקרקע והיובש האטמוספרי. כדי להגדיר את תקופת הזמן של עקת היובש בקרקע השתמשנו בערך הרטיבות

קצב הפעילות של משתנה מסוים של חילוף הגזים עולה בלפחות שתי סטיות תקן מעל הקצב הממוצע במהלך 'תקופת הפעילות המזערית'.

פרטים נוספים והרחבות נמצאים בפרסומים אחרים (Preisler, 2019; Oz, 2021).

'התאוששות הפעילות' ותחילת 'תקופת שיא הפעילות' חושב כשינוי בפעילות של המשתנים הפיזיולוגיים (Y), הפער בין הפעילות ביום מסוים לעומת היום הקודם ($Y_i - Y_{i-1}$), שהתבסס על ממוצע יומי מנורמל לטווח הפעילות (מְרִבִּי-מזְעֵרִי), מחולק בהבדלי הזמן בימים (x) בין הערכים היומיים. הוא חושב בנפרד לכל שנה ולכל משתנה, כך:

$$R_r = \frac{Y_i - Y_{i-1}}{Y_{min} - Y_{max}} \cdot \frac{X_i - X_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} \quad (2)$$

תוצאות

1. קצב ומשך תקופת ההתאוששות של חילוף הגזים בעלה.

התבניות השנתיות של פוטוסינתזה נטו, אידי-דיות ומוליכות הענפים לאדי מים תאמו את תבניות התנאים הסביבתיים לאורך תקופת המחקר. חילוף הגזים ברמת הענף הגיע לשיא בסוף החורף ובתחילת האביב, ירד כשתכולת המים בקרקע פחתה וגירעון לחץ אדי המים עלה בסוף האביב, ונשאר נמוך עד נקודת ההתאוששות בסוף הסתיו ובתחילת החורף (איור 3).

4. 'קצב שיא הפעילות' מוגדר כאחוזון ה-90 של הנתונים השנתיים למשתנה מסוים של חילוף הגזים.

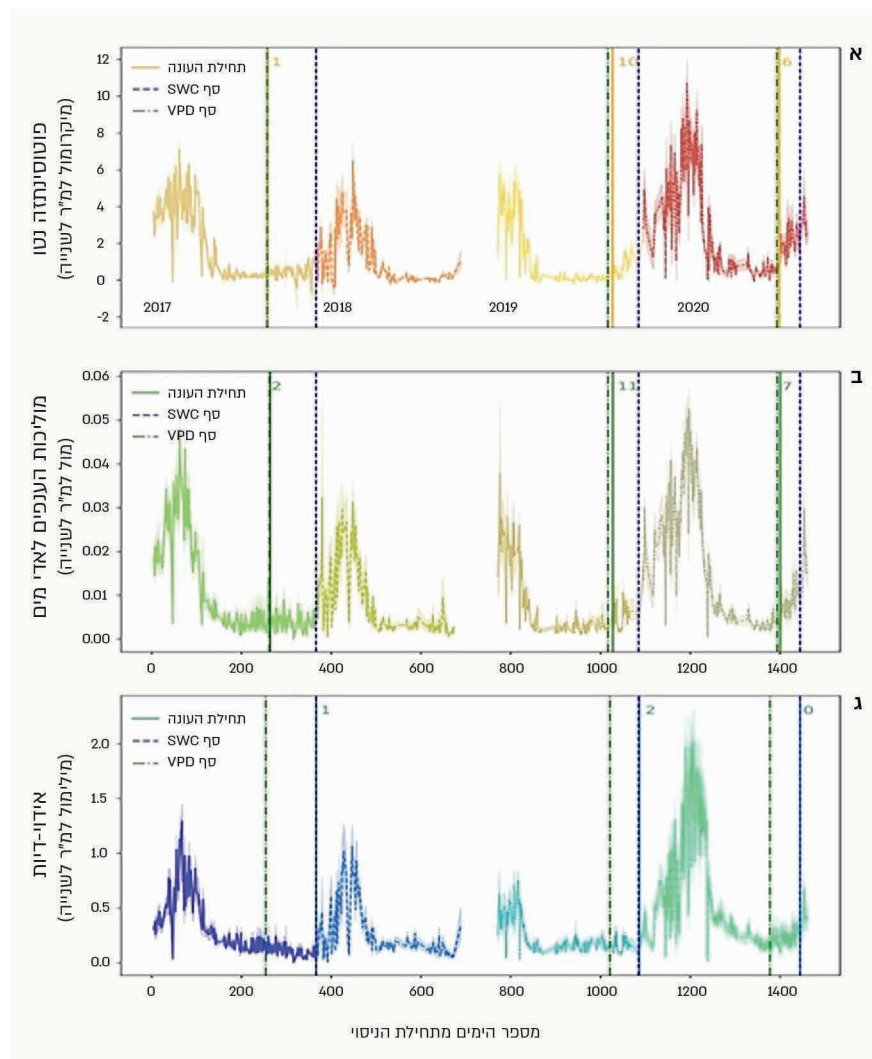
5. 'תקופת הפעילות המזערית' מוגדרת כתקופה שבה קצב הפעילות של משתנה מסוים של חילוף הגזים שווה לממוצע 60 הימים עם קצב הפעילות הנמוך ביותר לאותו משתנה באותה שנה או נמוך ממנו.

6. נקודת 'התאוששות הפעילות' מוגדרת כנקודה שבה

איור 3

המחזור העונתי ומשך תקופת ההתאוששות של חילוף הגזים בעלה

א. קצב הטמעת פחמן דו-חמצני בתהליך הפוטוסינתזה; ב. מוליכות הענפים לאדי מים; ג. קצב האידי-דיות בתקופת המחקר. כל צבע מייצג מחזור שנתי. קווים מלאים לאורך מציינים את תחילת העונה הפעילה (התקופה שבין 'התאוששות הפעילות' ועד 'תקופת פעילות נמוכה' הבאה). המספר בחלק העליון של כל קו מסמן את משך הזמן בימים מהסרת גורם העקה ועד תחילת העונה הפעילה עבור המשתנה. קווים כחולים מקווקווים מראים את היום שבו תכולת המים בקרקע הייתה גבוהה מסף תכולת המים בקרקע הניתנת לאידי-דיות. קווים ירוקים מקווקווים ומנוקדים מראים את היום שבו ממוצע גירעון לחץ אדי המים בשעות היום היה נמוך מממוצע גירעון לחץ אדי המים בקיץ בפעם האחרונה. ישנם נתונים חסרים.



בחורף עד תחילת האביב (ינואר-אפריל), כאשר תכולת המים בקרקע הייתה גבוהה וגירעון לחץ אדי המים היה נמוך. עם התייבשות הקרקע והעלייה בגירעון לחץ אדי המים בסוף האביב וכן במהלך הקיץ (מאי-ספטמבר) יעילות השימוש במים נותרה קבועה ונמוכה. כשהגירעון פחת עם הגשמים הראשונים בתחילת הסתיו (אוקטובר-דצמבר), החלה התאוששות של פוטוסינתזה נטו לפני עלייה באידוי-דיות, שהחלה רק לאחר שתכולת המים בקרקע עברה את גבול הסף הניתן לאידוי-דיות (איור 3). התוצאה היא מגמת עלייה של יעילות השימוש במים בתקופת ההתאוששות, שמגיעה לשיא בדצמבר-ינואר.

3. השפעות משך העקה על ההתאוששות.

בחלק זה נבחן הקשר בין תקופת פעילות מזערית ובין הסמנים להתאוששות, כלומר זמן ההתאוששות, קצב ההתאוששות וקצב שיא הפעילות (איור 5). נמצא מתאם בין זמן ההתאוששות של כל משתני התפקוד הקשורים לחילוף גזים בעלה ובין תקופת הפעילות המזערית: משך זמן ההתאוששות התארך, ככל שמשך תקופת הפעילות המזערית גדל. אף על פי שהמגמה הייתה דומה בכל המשתנים הפיזיולוגיים שנבדקו, נצפה הבדל משמעותי בין האידוי-דיות מחד גיסא לבין הפוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים מאידך גיסא, מבחינת משך זמן ההתאוששות ובשונות בין השנים. בעוד שעבור האידוי-דיות הייתה שונות גבוהה בין השנים באורך תקופות הפעילות המזערית (18, 89 ו-107 ימים), ההבדל במשך זמן ההתאוששות היה קטן יחסית (0-2 ימים). ההבדלים בין השנים באורך תקופות הפעילות המזערית עבור שני המשתנים 'פוטוסינתזה נטו' ו'מוליכות הענפים' היו קטנים יותר (36, 42 ו-77), ולמרות זאת, ההבדלים במשך זמן ההתאוששות היו גדולים יותר מאלה של אידוי-דיות.

הקשר בין קצב ההתאוששות הממוצע לתקופת הפעילות המזערית היה דומה עבור המשתנים פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים ושונה עבור אידוי-דיות. קצב ההתאוששות הממוצע של האידוי-דיות היה גבוה יותר בהשוואה להתאוששות הפוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים, אבל לא השתנה גם כשתקופת הפעילות המזערית השתנתה בשנים 2017-2018 ו-2019-2020. בניגוד לכך, קצב ההתאוששות הממוצע של פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים ב-2019-2020 היה גדול כפליים מזה שב-2017-2018, אף על פי שב-2017-2018 תקופת הפעילות המזערית נמשכה כמחצית מהזמן (איור 5, ב, 5, ח).

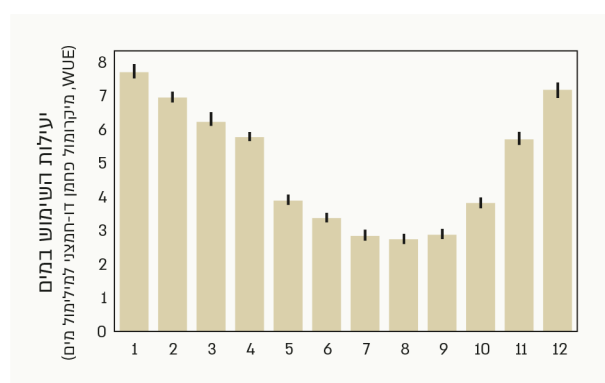
התוצאות מעידות שאין קשר בין אורך 'תקופת הפעילות המזערית' לבין 'קצב שיא הפעילות' בעונה העוקבת במדדי הפעילות השונים. לראיה, השוואה של הפעילות ב-2017-

הקשר בין העונתיות של גורמי העקה (תכולת המים בקרקע, גירעון לחץ אדי המים) למשתנים שמייצגים את חילוף הגזים בעלה השתקף ב'משך זמן ההתאוששות'. משך זמן ההתאוששות של אידוי-דיות היה הקצר ביותר והאחיד ביותר בין השנים, בטווח של 0-2 ימים (איור 3). משך זמן ההתאוששות של מוליכות הענפים נע בטווח של 1-10 ימים, וזה של פוטוסינתזה נטו היה 2-11 ימים (איור 3, א, ב).

הבדל מהותי נוסף במשך זמן ההתאוששות בין המשתנים הוא מועד ההתאוששות. בעוד שהפרמטרים של פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים התאוששו בתחילת הסתיו, באוקטובר, מדד אידוי-דיות התאושש רק בתחילת החורף, בדצמבר. ניתן לייחס את ההבדל המובהק - פער של 74 ימים בממוצע - לתגובה המבדלת של המשתנים השונים להסרת גורמי העקה. ההתאוששות של פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים הייתה קשורה בבירור להסרת העקה של גירעון לחץ אדי המים בתחילת הסתיו (איור 3, א, ב), ואילו מועד ההתאוששות של האידוי-דיות היה קשור בבירור להסרת העקה של תכולת המים בקרקע, שמתרחשת מאוחר יותר, בתחילת החורף (איור 3).

2. מגמה שנתית של יעילות השימוש במים.

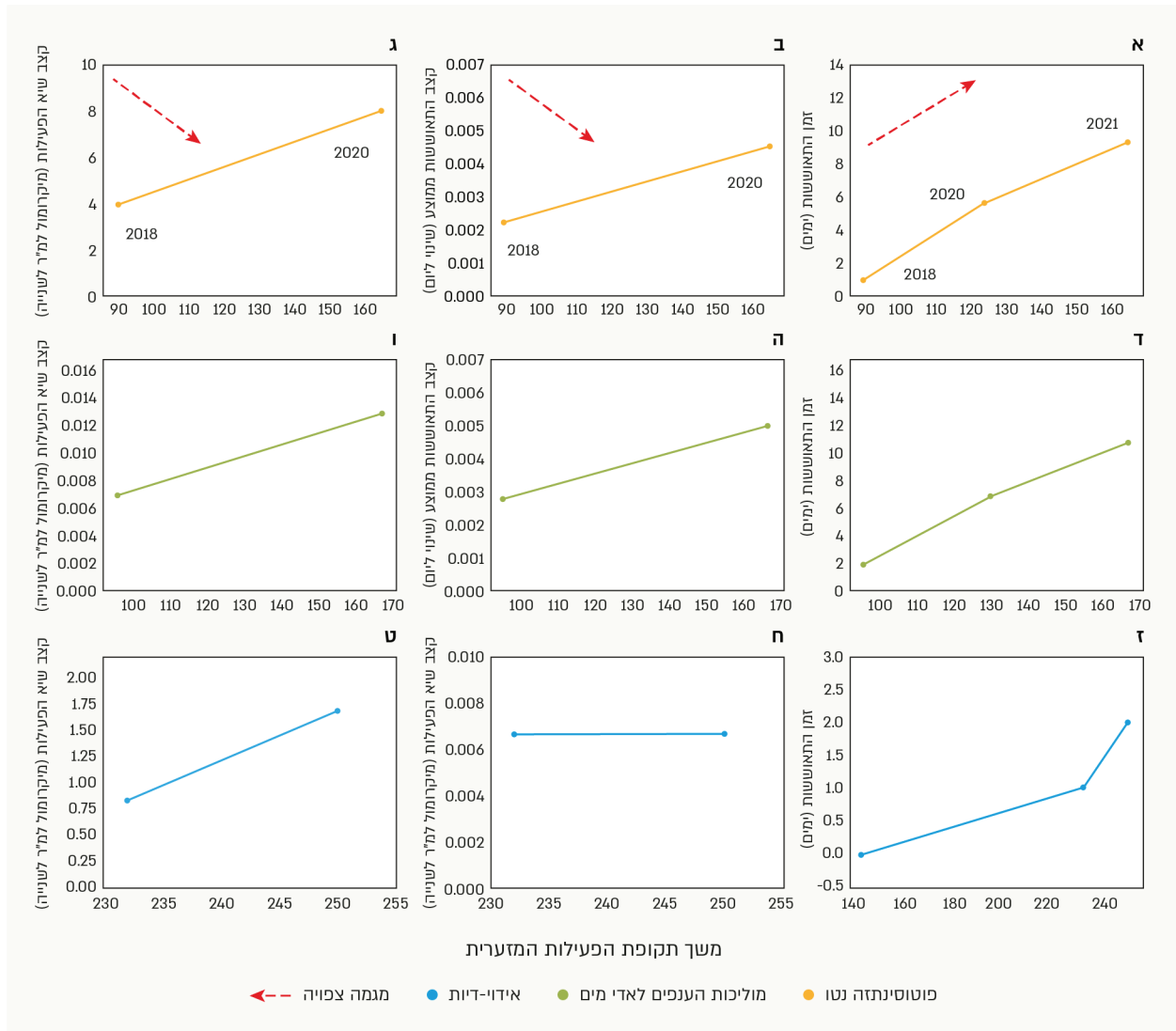
היחס בין שטף הפחמן שהצמח קולט, לשטף המים שהוא מאבד בדיות, נקרא יעילות השימוש במים (WUE). התבנית העונתית של יעילות השימוש במים (פוטוסינתזה נטו חלקי אידוי-דיות, איור 4) מראה שהפער בזמן בין התאוששות הפוטוסינתזה נטו להתאוששות האידוי-דיות מוביל ליעילות גבוהה של שימוש במים במהלך תקופת ההתאוששות (אוקטובר-דצמבר). יעילות השימוש במים הייתה גבוהה



איוור 4

ממוצע חודשי של יעילות השימוש במים

הקווים השחורים מציינים את סטיית התקן. נתונים על ארבע שנות המחקר (2017-2020). ערכי יעילות השימוש במים חושבו בהתבסס על ממוצעים של פוטוסינתזה נטו ואידוי-דיות בשעות היום.



איור 5

פרמטר ההתאוששות ושיא הפעילות לתקופות פעילות מזערית שונות

שורה עליונה, א-ג פוטוסינתזה; שורה אמצעית, ד-ו מוליכות הענפים לאדי מים; שורה תחתונה, ז-ט אידו-דיות. העמודה השמאלית (א, ד, ז) מראה את משך ההתאוששות בשלוש תקופות של 'תקופת פעילות מזערית' במחזוריים השנתיים של 2021-2020, 2020-2019, 2018-2017. העמודה האמצעית מראה את קצב ההתאוששות הממוצע ליום לשתי תקופות של 'תקופת פעילות מזערית': 2020-2019, 2018-2017. העמודה הימנית מראה את קצב שיא הפעילות (אחוזון 90) לשתי התקופות הללו. ממוצעים יומיים בשעות היום שימשו למשתנים של חילוף הגזים בעלה. הנתונים מסתיימים בדצמבר 2020, לפני ההגעה לשיא הפעילות ב-2021, ולכן שנה זו מופיעה רק בעמודה השמאלית. החץ האדום מסמן את המגמה הצפויה לפי השערות המחקר. ציפינו שככל שתקופת העקה תהיה ארוכה יותר, זמן ההתאוששות (א, ד, ז) יהיה ארוך יותר, קצב ההתאוששות (ב, ה, ח) ירד, וקצב שיא הפעילות (ג, ו, ט) יהיה נמוך יותר.

דין

2018 לעומת 2019-2020 מראה שלאחר 'תקופת פעילות מזערית' ארוכה (2019) נרשמו שיאי פעילות גבוהים (2020). שיאי הפעילות ב-2020 היו גבוהים פי שניים בהשוואה לשיאי הפעילות ב-2018 בעקבות 'תקופת פעילות מזערית' קצרה יחסית ב-2017 (איור 5, ג, 15, ט5). כלומר, אף על פי שתקופת העקה בקיץ של 2019 הייתה ארוכה ביותר בתקופת המחקר, בתקופת שיא הפעילות ב-2020 נמדדו קצבי הפעילות הגבוהים ביותר.

התאוששות פעולת חילוף הגזים בעלה מגורמי העקה -

תכולת מים נמוכה בקרקע וגירעון לחץ אדי מים

לאחר היציאה מתקופת העקה שנגרמה בשל תכולת מים נמוכה בקרקע או מגירעון לחץ אדי המים, כלומר יובש האוויר, המשתנים השונים הקשורים לחילוף גזים בעלה החלו להתאושש. יש להזכיר כי פוטוסינתזה נטו ומוליכות

יותר מכך, נראה שקצב ההתאוששות היה דומה בשנים שונות בתקופת הגשמים. למשל, קצב ההתאוששות הממוצע של 'פוטוסינתזה נטו' ומוליכות הענפים בשנים 2017 ו-2020 היה שונה, אך אם נתייחס רק לנתונים שאחרי תחילת הגשמים, נקבל ערכים דומים בשתי השנים. המסקנה העיקרית היא, אם כן, שאף על פי שתחילת ההתאוששות של פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים קשורה ליציאה מהעקה של גירעון לחץ אדי המים, קצב התאוששות גבוה מתקבל רק אחרי תחילת הגשמים והעלייה בתכולת המים בקרקע, כפי שנמצא גם אצל Liu ושות' (2020).

קשרי גומלין בין הקצב בשיא הפעילות לאחר עקה ואורך תקופת העקה

כפי שניתן לראות (איור 5ג, 15, 5ט), לא נמצא מתאם בין 'שיא הפעילות' של משתני חילוף הגזים בעלה ומשך תקופת הפעילות המזערית. רמות 'שיא הפעילות' לא הושפעו מרמות עקה קודמות או מהמשך שלהן. נראה כי לתקופת פעילות מזערית ארוכה לא הייתה השפעה שלילית על חילוף הגזים בעלה בעונה היצרנית שלאחריה, כלומר אין השפעה שלילית של אירועי עבר. ממצא זה סותר מחקרי שדה שבחנו השפעה של אירועי בצורת על טבעות עצים (Anderegg et al., 2015; Camarero et al., 2018).

התוצאות שלנו מראות גם שניתן לקשר בין רמות 'קצב שיא הפעילות' של משתנים הקשורים לחילוף גזים בעלה לתנאי סביבה שקיימים באותו זמן. השונות הבין-שנתית בתנאי הסביבה במהלך 'תקופת שיא הפעילות' העוקבת מביאה לשונות בערך השיא ובמועד התקופה.

אנו רואים שבכל המשתנים הקשורים לחילוף גזים בעלה, 'פעילות השיא' לאחר העקה ב-2020 הייתה גבוהה יותר מזו של 2018. ייתכן שאפשר להסביר זאת בתקופת גשמים ארוכה יותר ב-2020 (202 ימים ו-416 מ"מ) שעזרה לשמור על תכולה גבוהה מגבול הסף של מים בקרקע הניתנים לאידוי-דיות, עד סוף האביב שלאחר מכן (5 במאי). בניגוד לכך, ב-2018 נתוני תקופת הגשמים היו 152 ימים ו-240 מ"מ, וגבול הסף בה התקיים ב-5 באפריל. תקופת 'שיא הפעילות' ביער יתיר מוגדרת בעזרת ההשפעות המשולבות של ירידה בתכולת המים בקרקע ועלייה בטמפרטורה ובקרינה באביב (Wang et al., 2020). ב-2018 תכולת המים בקרקע הביאה לתקופת שיא פעילות' בתנאים שאינם טובים מבחינת הקרינה והטמפרטורה (קרינה חזקה וטמפרטורה גבוהה). ב-2020 אפשרה תקופת הגשמים הארוכה תנאים מיטביים של תכולת מים בקרקע, קרינה וטמפרטורה באותו זמן. השילוב הלא רגיל של תנאי הסביבה בשנה זו הביא לשיא פעילות' של חילוף גזים בעלה במועד מאוחר יותר ובערכים גבוהים יותר מאשר בשנים אחרות.

הענפים לאדי מים הגיבו להסרת העקה של גירעון לחץ אדי המים, בעוד שאידוי-דיות הגיבו להסרת העקה של תכולת המים בקרקע (איור 3א, 3ב, 3ג).

למועד ההתאוששות של פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים היה קשר חזק לסיום 'תקופת גירעון לחץ אדי המים המרבי', אך לא נמצא קשר למועד סיום העונה היבשה בקרקע. שני המשתנים הללו התאוששו מוקדם יותר ממשנתה הדיות, ולכן נרשמה עלייה ביעילות השימוש במים בתקופת ההתאוששות (איור 4). ההשפעות האלה מוסברות על ידי מנגנוני בקרה שונים של רכיבי חילוף הגזים בעלה ברמות עקה שונות של מים וגירעון לחץ אדי מים (Ye and Yu, 2008).

קשרי גומלין אפשריים בין פרמטרים של התאוששות לאורך תקופת העקה

התוצאות מראות בבירור שיש חוסר התאמה בזמן בין סוף תקופת העקות הסביבתיות ומועד התאוששות הפעילות הפיזיולוגית. במקרים מסוימים הפער גדול יותר, ובאחרים מזערי. מכאן עולה השאלה אם יש קשר בין משך תקופת הפעילות המזערית לתקופה של חוסר ההתאמה.

התוצאות תומכות בקשר כזה (איור 5א, 5ד, 5ז). זמן ההתאוששות של כל המשתנים הקשורים לחילוף הגזים בעלה הראה מתאם חיובי למשך תקופת הפעילות המזערית, כלומר, ככל שתקופה זו הייתה ארוכה יותר, כך גדל הפער בין משך 'היציאה מהעקה' ומועד 'התאוששות הפעילות'. יש לזכור כי בכל השנים קיים הבדל בין זמן ההתאוששות של אידוי-דיות (מהיר ואחיד יחסית) ובין זה של פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים (איטי ומשתנה). ממצא זה הודגם במחקרים רבים בעבר (Ruehr et al., 2019). לפי Flexas ושות' (2006), כאשר מוליכות הענפים נמוכה מ-0.05 מול למ"ר לשנייה – קצב טיפוסית בעונה היבשה ביתיר – יכולת קיבוע הפחמן יורדת, והעלים צריכים לשקם את היכולת לאחר היציאה מהעקה. האנרגיה לתיקון מערכת הובלת המים והמערכות הפוטוסינתטיות מוגבלת גם היא אחרי תקופה ארוכה של פעילות מזערית בגלל מאגרי הפחמן המדולדלים (Galiano et al., 2011, Ruehr et al., 2019). הממצאים הללו יכולים להסביר את זמן ההתאוששות הארוך יותר הנדרש לפוטוסינתזה נטו ולמוליכות הענפים לאחר תקופה ארוכה של פעילות מזערית.

לא נמצא קשר ישיר בין קצב ההתאוששות לתקופת הפעילות המזערית (איור 5ב, 5ה, 5ח) היות שהוא היה גבוה עבור פוטוסינתזה נטו ומוליכות הענפים, אך נותר דומה באידוי-דיות. גם ממצא זה תואם מחקרים קודמים (Schwalm et al., 2017).

צחיחה למחצה (Wang et al., 2020). התקצרות נוספת שלו בליווי החמרת העקה יכולות להוביל לתמותה נרחבת יותר של אורנים, כפי שראינו ביער יתיר בשנים 2008–2009 (Cobb et al., 2020).

עם זאת, המגמה של התקצרות העונה הגשומה וירידת משקעים רבים בפרק זמן קצר יכולה להוביל להגדלת כמות הגשם בכל אירוע. לאפקט זה עשויה להיות השפעה חיובית על הפעילות הפיזיולוגית של העצים ביער יובשני שתהווה מעין מנגנון פיצוי, כך שבשנים עם אירועי גשם גדולים יותר, יעילות החידור וכמות המים באזור השורשים יישמרו גבוהות לאורך זמן רב יותר (Oz, 2021), ויעילות ניצול המים תהיה גבוהה יותר (Raz-Yaseef et al., 2020). על סמך התוצאות ממחקר זה נראה שלאורך העקה עצמו אין השפעה ברורה על קצב ההתאוששות של העצים ועל רמת הפעילות שלאחריה. ההשפעה העיקרית היא של התפתחות תנאים מיטביים בעונה העוקבת, וכן רגישות רבה לשנות עקה עוקבות. תוצאות המחקר שהובאו כאן מראות שיערות יובשניים כיער יתיר מתקרבים לגבול השרידות, אך מראים יכולת התאוששות אם תקופת העקה מוגבלות בזמן ומפורדות בעונות המאפשרות את ניצול כושר ההתאוששות הזה. התוצאות הצביעו גם על הפרדה בין ההתאוששות מיובש אטמוספרי ויובש קרקע, ולכן גם על חשיבות קצב השינויים בכל אחד ממרכיבים אקלימיים אלה.

תוצאות מהמחקר ביער יתיר הראו שתהליכי ההתאוששות מעקה מושפעים בצורה שונה מעקה הנובעת מיובש הקרקע ומעקה הנובעת מיובש האוויר. פוטוסינתזה ומוליכות הענפים לאדי מים הגיבו בעיקר להסרת העקה של גירעון לחץ אדי המים באוויר, בעוד שתהליך האידי-דיות הגיבו בעיקר להסרת העקה של תכולת המים בקרקע (כלומר לירידת גשמים). התוצאות מצביעות על המורכבות בתהליכי ההתאוששות מעקה המהווים מרכיב קריטי ביכולת ההישרדות של היערות לנוכח שינוי האקלים הצפוי באזורנו, ועל החשיבות בהבחנה בין שינויים במשקעים ובין אלה המשפיעים על הלחות האטמוספירית.

השפעת שינוי האקלים על כושר ההתאוששות מעקה ועל שרידות היער

על פי תחזיות לשינוי האקלים, העקה בתקופת היובש באזורנו צפויה להחמיר בעקבות עליית הטמפרטורות (IPCC, 2018), ולהתארך עקב שינויים בפיזור המשקעים שצפויים להצטמצם לחודשים דצמבר–פברואר ללא שינוי משמעותי בכמות השנתית (Drori et al. 2021). כפי שהדגמנו במחקר זה, התארכות תקופת העקה המאופיינת בשילוב של דרישה אטמוספירית גבוהה לאדי מים ויובש קרקע, מביאה להתארכות תקופת ההתאוששות של העצים בסיומה. כבר בתנאים הנוכחיים יש חלון ההזדמנויות קצר לקיבוע יעיל של פחמן ולתיקון נזקים הידראוליים של העצים בסביבה

מקורות

- Dangel U. 2016. The World's Forests. In: Dangel U. *Turning Point in Timber Construction*. Basel: Birkhäuser. pp. 12–16.
- Galiano L, Martinez-Vilalta J, and Lloret F. 2010. Carbon reserves and canopy defoliation determine the recovery of Scots pine 4yr after a drought episode. *New Phytologist*, 190(3), 750–759.
- Griffith DM, Lehmann CER, Strömberg CAE, Parr CL, Pennington RT, Sankaran M, et al. 2017. Comment on "The extent of forest in dryland biomes". *Science*, 358(6365), 27–30.
- Grossiord C, Buckley TN, Cernusak LA, Novick KA, Poulter B, Siegwolf RT, et al. 2020. Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytologist*, 226(6), 1550–1566.
- Grünzweig JM, Lin T, Rotenberg E, Schwartz A, and Yakir D. 2003. Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology*, 9, 791–799.
- IPCC, 2018. (In Press). Global Warming of 1.5°C (Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO, Roberts D, Skea J, Shukla PR, et al. [Eds]). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–24.
- Klein T. 2020. A race to the unknown: Contemporary research on tree and forest drought resistance, an Israeli perspective. *Journal of Arid Environments*, 172, (August 2018), 104045.
- Klein T and Hoch G. 2015. Tree carbon allocation dynamics determined using a carbon mass balance approach. *New Phytologist*, 205(1), 147–159.
- Anderegg WRL, Schwalm C, Biondi F, Camarero JJ, Koch G, Litvak M, et al. 2015. Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models. *Science*, 349(6247), 532–528.
- Bamberger I, Ruehr NK, Schmitt M, Gast A, Wohlfahrt G, and Arneth A. 2017. Isoprene emission and photosynthesis during heat waves and drought in black locust. *Biogeosciences Discussions*, 14, 3649–3667.
- Birami B, Gattmann M, Heyer AG, Grote R, Arneth A, and Ruehr NK. 2018. Heat waves alter carbon allocation and increase mortality of Aleppo pine under dry conditions. *Frontiers in Forests and Global Change*, 1(November 2018), 1–17.
- Bonan GB. 2008. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444–1449.
- Camarero JJ, Gazol A, Sangüesa-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(FEB 2018), 1–11.
- Cobb R, Ruthrof K, Breshears D, Lloret F, Aakala T, Adams HD, et al. 2017. Ecosystem dynamics and management after forest die-off: a global synthesis with conceptual state-and-transition models. *Ecosphere*, 8(12), e02034.

- Rohatyn S, Yakir D, Rotenberg E, and Carmel Y. 2022. Limited climate change mitigation potential through forestation of the vast dryland regions. *Science*, 377(6613), 1436–1439.
- Rotenberg E and Yakir D. 2010. Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327(327), 451–454.
- Ruehr NK, Grote R, Mayr S, and Arneth A. 2019. Beyond the extreme: Recovery of carbon and water relations in woody plants following heat and drought stress. *Tree Physiology*, 8, 1285–1299.
- Schwalm CR, Anderegg WRL, Michalak AM, Fisher JB, Biondi F, Koch G, et al. 2017. Global patterns of drought recovery. *Nature*, 548(7666), 202–205.
- Serra-Maluquer X, Mencuccini M, and Martinez-Vilalta J. 2018. Changes in tree resistance, recovery and resilience across three successive extreme droughts in the northeast Iberian Peninsula. *Oecologia*, 187(1), 343–354.
- Väänänen PJ, Osem Y, Cohen S, and Grünzweig JM. 2020. Differential drought resistance strategies of co-existing woodland species enduring the long rainless Eastern Mediterranean summer. *Tree Physiology*, 40(3), 305–320.
- Wang H, Gitelson A, Sprintsin M, Rotenberg E, and Yakir D. 2020. Ecophysiological adjustments of a pine forest to enhance early spring activity in hot and dry climate. *Environmental Research Letters*, 15(11), 114054.
- Ye ZP and Yu Q. 2008. A coupled model of stomatal conductance and photosynthesis for winter wheat. *Photosynthetica*, 46(4), 637–640.
- Ziv B, Saaroni H, Pargament R, Harpaz T, and Alpert P. 2014. Trends in rainfall regime over Israel, 1975–2010, and their relationship to large-scale variability. *Regional Environmental Change*, 14(5), 1751–1764.
- Klein T, Rotenberg E, Cohen-Hilaleh E, Raz-Yaseef N, Tatarinov F, Preisler Y, et al. 2014. Quantifying transpirable soil water and its relations to tree water use dynamics in a water-limited pine forest. *Ecohydrology*, 7(2), 409–419.
- Liu L, Gudmundsson L, Hauser M, Qin D, Li S, and Seneviratne SI. 2020. Soil moisture dominates dryness stress on ecosystem production globally. *Nature Communication*, 11(1), 1–9.
- Lloret F, Keeling EG, and Sala A. 2011. Components of tree resilience: Effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, 120(12), 1909–1920.
- Madi A. 2020. Quantifying water and carbon usage in a mosaic of ecosystems under dry Mediterranean climate (MSc Thesis). Rehovot: Weizmann Institute of Science.
- Oz I. 2021. Resilience of Aleppo pine trees to drought and heat as a function of the duration of the stress period during the dry season (MSc Thesis). Rehovot: The Hebrew University of Jerusalem. https://www.weizmann.ac.il/EPS/Yakir/sites/EPS.Yakir/files/publications/oz_-_2021_-_resilience_of_aleppo_pine_trees_to_drought_and_heat_0.pdf
- Preisler Y. 2019. Water-use strategies leading to resilience of pine trees to global climatic change (MSc Thesis). Rehovot: The Hebrew University of Jerusalem. https://www.weizmann.ac.il/EPS/Yakir/sites/EPS.Yakir/files/publications/preisler_-_2019_-_water-use_strategies_leading_to_resilience_of_pine.pdf
- Pumpanen JS, Heinonsalo J, Rasilo T, Hurme KR, and Ilvesniemi H. 2009. Carbon balance and allocation of assimilated CO₂ in Scots pine, Norway spruce, and Silver birch seedlings determined with gas exchange measurements and ¹⁴C pulse labelling. *Trees*, 23(3), 611–621.
- Raz-Yaseef N, Yakir D, Schiller G, and Cohen S. 2012. Dynamics of evapotranspiration partitioning in a semi-arid forest as affected by temporal rainfall patterns. *Agricultural and Forest Meteorology*, 157, 77–85.



טיפול בציוד המדידה על מגדל השטפים בתחנת יער יתיר, 2018
צילום באמצעות רחפן: ג'ונתן מילר



תחנת המחקר ביער יתיר ממבט-על, 2018
צילום באמצעות רחפן: ג'ונתן מילר



הדגמת עקרונות אקו-הידרולוגיים על מדבר צחיח קיצון בתחנת רמון למחקר אקולוגי ארוך טווח

אלי גרונר * | נעמי ברדה סוידרסקי | נעם גנץ | אריאל מרוז | מאור טיקוצ'ינסקי
יפתח דבש | דיאנה סופיה גליאנו | צביה אפרתי | אבשלום באב"ד

מו"פ מדבר ים המלח, שלוחת רמון, משרד המדע, הטכנולוגיה והחדשנות
elli@adssc.org *

תקציר

כיסוי הצומח בעזרת רחפן הראו כמצופה, שיש קשר חיובי בין גודל הערוצים באגן לבין כיסוי הצומח באפיק. כלומר במורד אגן הניקוז ובאגני ניקוז גדולים צפוי להתקבל כיסוי צומח גבוה יותר. המגוון הביולוגי בתחנת LTER רמון מושפע רבות מנישות הידרולוגיות הנקבעות על פי זמינות המים.

תחנת המחקר האקולוגי ארוך הטווח (LTER) רמון נמצאת על הגבול בין אזור אקלים צחיח לאזור אקלים צחיח קיצון במכתש רמון. בתחנה חוקרים בעיקר את הקשר בין טופוגרפיה, זמינות מים ותהליכים אקולוגיים. התחנה אימצה את הפרוטוקולים האירופיים לניטור ארוך טווח, ומשמשת תחנת דוגמה לחקר המדבר עם דגש על הידרולוגיה. רוב המחקר מתקיים כיום באגן ניקוז נחל גוונים. במאמר נציג את העקרונות האקו-הידרולוגיים המבדילים בין מדבר באקלים צחיח למדבר באקלים צחיח קיצון, ונדגים אותם מתוך ממצאים של שלוש שנות ניטור באגן הניקוז של נחל גוונים. הממצאים מראים שמתקיים קשר לא ליניארי בין כמות המשקעים באירועי גשם לבין התפתחות נגר ותכולת המים בתת-הקרקע. המשך הניטור יסייע בהבנת המרכיבים של המערכת האקולוגית המקיימת נגר ומעשירה את מאגרי המים בתת-הקרקע של בסיס האפיק. נוסף על כך, מדידות

מילות מפתח

ביומסה, מקור-מבלע, סדרי ערוצים, פעימה-עתודה, רטיבות קרקע

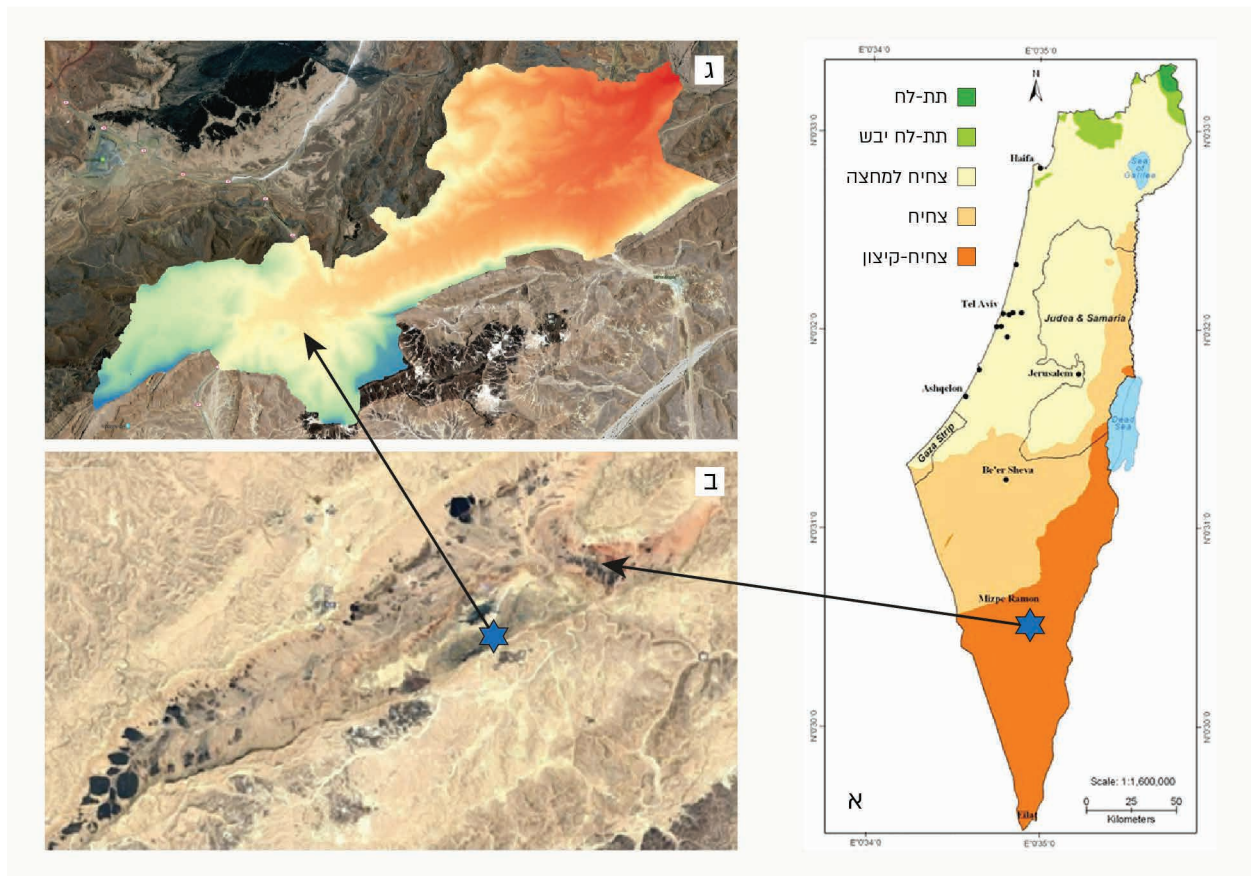
רקע

הים, ואילו השוליים הדרומיים הם כ-500 מטר מעל פני הים. הטמפרטורה הממוצעת ביולי היא 34 מעלות צלזיוס, ובינואר 12.5 מעלות. כמות המשקעים הממוצעת שנרשמה בעבר היא 56 מ"מ לשנה באזור הצפון-מזרחי הנמוך (Krasnov and Ayal, 1995) ו-100 מ"מ לשנה באזור הדרום-מערבי הגבוה (Krasnov and Shenbrot, 1998). מכתש רמון הוא מכתש סחיפתי שנוצר בעקבות תהליכים גאומורפולוגיים שפעלו על הרכסים במרכז הנגב ובצפון הנגב (Avni and Zilberman, 2006). המכתש חושף סלעים מגיל הטריאס ועד בסיס הקרטיקון העליון (מ-250 מיליון שנה ועד 66 מיליון שנה) (Finzi et al., 2019). המגוון הליתולוגי רחב, וכולל מצוקים גירניים וסלעי דולמיט קשים, אבני חול רכות, מחדרים מגמטיים, הרי געש ודיונות חול (Krasnov and Shenbrot, 1998).

עם היעלמות המכרות שהתבססו על מחצבי המכתש, ופיתוח התיירות בשמורת הטבע המתהווה, נעשו ניסיונות לשיקום נופי במכרות (להבדיל משיקום אקולוגי) בעזרת

במשך שנים רבות נערך ניטור ארוך טווח ברחבי מכתש רמון. בשנים האחרונות הניטור והמחקר מתמקדים באגן ניקוז נחל גוונים, דרומית ליישוב מצפה רמון. מבחינת האקלים נחל גוונים מתפקד כאקוטון (אזור מעבר) בין אזור אקלים צחיח (arid) מדרום ומזרח, לאזור אקלים הצחיח קיצון (hyper arid) מצפון וממערב (איור 1). אזורי מעבר הם הראשונים להשתנות עקב שינוי אקלים. תחנת LTER רמון הוקמה בשנות ה-90 כתחנת מחקר של מרכז מדע רמון (מו"פ של משרד המדע בחסות אוניברסיטת בן-גוריון בנגב). מטרתה הייתה לחקור את השפעות שינוי האקלים הקשורות להתייבשות ולהתחממות החזויה (Martinez-Valderrama et al., 2020) על מערכות אקולוגיות באזור זה.

שטח מכתש רמון הוא 240 קמ"ר (Krasnov and Shenbrot, 1998). השוליים הצפוניים של המכתש, קרי קירות המכתש, הם בגובה של 800–1,200 מטר מעל פני



איור 1

אתר המחקר

(א) מפה של מדד הצחיחות של ישראל ומיקום מכתש רמון בקצה הלח של האזור הצחיח קיצון (כתום); (ב) תצלום אוויר של מכתש רמון ומיקומו של אגן ניקוז נחל גוונים; (ג) מפת רום של אגן ניקוז נחל גוונים.

ושטח המחקר הצטמצם לאגן ניקוז אחד שגודלו כ-5.85 קמ"ר. נחל גוונים ממוקם בדרום המכתש, והקיר הדרומי של המכתש מהווה את אחת מדפנות אגן הניקוז של הנחל. אגן הנחל מתאפיין במגוון גאולוגי (geodiversity). יש בו סלעים מגמטיים ויוריניים ואבני חול מגיל הטריאס ועד הקרטיקון, ובסיס הערוץ מורכב מאלוביום (Finzi et al., 2019).

תחנת LTER רמון היא חלק משמורת טבע, ורוב המחקרים נעשים בשיתוף עם רשות הטבע והגנים. בשנים האחרונות המחקר מתמקד בקשר בין ההידרולוגיה לאקולוגיה באזור של אקלים צחיח קיצוני. שטחו המוגבל של אגן הניקוז של נחל גוונים מאפשר פריסה רחבה של מכשירי ניטור הידרולוגיים שמייצגים את השונות המרחבית של כלל האגן. נוסף על כך, בשל המבנה הגאולוגי במורד הנחל נוצר 'צוואר בקבוק' של זרימת המים, המאפשר כימות של כל המים היוצאים מהאגן ונשפכים לנחל רמון.

אקו-הידרולוגיה של מדבר צחיח קיצוני

זמינות המים היא הגורם המגביל יצרנות במערכות אקולוגיות. את זמינות המים ניתן לחשב בעזרת מדד הצחיחות (aridity index) ככמות משקעים שנתית חלקי אידיו פוטנציאלי. מדבר צחיח קיצוני מוגדר כאזור שבו מדד הצחיחות קטן מ-5% (Safriel et al., 2006). מדד הצחיחות מעיד על זמינות המים, מכיוון שנוסחתו כוללת את המים הנכנסים למערכת (משקעים) ואת המים שיוצאים מהמערכת בגלל חום (אידיו ודיות פוטנציאליים). ככל שרמת המשקעים נמוכה יותר והטמפרטורות גבוהות יותר, יש פחות מים זמינים למערכת האקולוגית. בישראל ככל שיורדים דרומה (ומזרחה מההרים), הטמפרטורה עולה, והמשקעים פוחתים, ולכן מדד הצחיחות יורד בתלילות. למשל, בעוד שמצפה רמון, שיורדים בה כ-80 מ"מ גשם בשנה, מצויה באזור הצחיח, מכתש רמון שנמצא כ-2 ק"מ דרומית לה, שוכן באזור צחיח קיצוני עם כ-55 מ"מ גשמים בשנה. השינוי נובע מהירידה בטופוגרפיה שגורמת לירידה בכמות המשקעים ולעלייה בטמפרטורה. בשל כך, ישנה חשיבות להבנת המערכת ההידרולוגית והשפעתה על הצמחייה שמארג המזון מתבסס עליה. בנגב עונת הגשמים מתחילה באוקטובר ונמשכת עד אפריל או מאי. אחד המאפיינים של משטר המשקעים באזורים מדבריים וכן במכתש רמון, הוא שונות גבוהה בכמות המשקעים השנתית ובעיתוי ירידתם. לאחרונה ישנם דיווחים שאזורי מדבריות באקלים צחיח קיצוני מתרחבים בעולם (Martinez-Valderrama et al., 2020). במדבר באקלים הצחיח קיצוני, שלא כמו במדבר באקלים הצחיח, ולמעט שנים יוצאות דופן, צמחים וסקולאריים (צמחים בעלי נצר ושוורש, שיש להם מערכות

פיזור אבנים כך שהנוף ידמה למצבו הטבעי, ופותרו דרכים חדשות (דרורי ובר [קוטיאל], 2012). במחקר שנערך על הדרכים שנפתחו לרכבים בתוך המכתש, נמצא כי הן שינו את זרימת המים וכן את הגודל והרכב של מיני הצמחייה ושל בעלי החיים הקרקעיים (Cohen et al., 2021).

מחקרי עבר בתחנת LTER רמון כללו השוואה של בתי הגידול שונים בתוך המכתש, ובכלל זה דיונות חול, אלוביום (תוצרי סחף שמקורם באגן), צוקים ועוד. נחקרו בעיקר צמחים (Ward and Olsvig-Whittaker, 1993; Ward et al., 2000; Schmidt and Karnieli, 2001; Ruiz et al., 2006; Krasnov and Shenbrot, 1996; Krasnov et al., 1996), זוחלים (Shenbrot and Krasnov, 1997) ויונקים (Khokhlova et al., 1994; Krasnov et al., 1996; Krasnov et al., 1997; Saltz et al., 1999; Ward et al., 1999; Saltz et al., 2000; Saltz et al., 2006).

המחקרים שנערכו בין 1990 ל-2006 בכל בתי הגידול במכתש כללו גם ניטור ארוך טווח של מרכסמים ביחידות נוף שונות בתוך המכתש, ונמצאו בהם 13 מינים של מרכסמים. מין אחד נמצא בבית גידול חולי (גרביל דרומי [*Gerbillus Sekeetamys*] (יפה זנב [*gerbillus calurus*]), שני מינים בקרקעות לס (עכבר מצוי [*musculus Eliomys melanurus*]), ונמנמן סלעים מצוי [*Jaculus jaculus*]) מעדיף כבית גידול את משטחי הרג-חמדה העניים בשיחים. שאר המינים לא היו ספציפיים לבית גידול מסוים. כמו כן, נמצא כי צפיפות האוכלוסיות של המינים השונים בקיץ תלויה בעיקר בכמות הגשמים בחורף, למעט בית הגידול החולי, שם הצפיפות תלויה בעיקר בכמות הגשם בשנה הקודמת (Shenbrot et al., 2010), הגשם קובע את זמינות המזון עבור המרכסמים (Brown and Ernest, 2002). מחקר שנערך באותה תקופה ועסק בצמחייה במכתש הראה שכמות הגשם היא הגורם החשוב ביותר המשפיע עליה, ואילו לעוצמת רעיית הצבאים והפראים יש השפעה מעטה על הצמחייה (Ward et al., 2000). צפיפות מרכסמים בוואדיות לא הושפעה מבצורות או משנים שחונות. לעומת זאת, נראה כי צפיפות המרכסמים בבתי הגידול השונים הראתה מגמות דומות, והיה סנכרון בתנודות העיתיות, כך שאוכלוסיות מינים שונים עולות ויורדות בסנכרון.

התמקדות בנחל גוונים ב-LTER רמון

תחנות מחקר בישראל (כולל תחנות eLTER) משתרעות לרוב על פני שטח של 5 קמ"ר (גרונר ושחק, 2011). החל משנת 2018 בחרנו למקד את המחקר האקולוגי בבתי הגידול באזורי מעבר בנחל גוונים. שטח המכתש הוא 240 קמ"ר,

שיטפונות בנחל גוונים

חלקו העיקרי של נחל גוונים זורם במבנה של 'דגם פזרות', כלומר הנחל מורכב ממספר ערוצי זרימה פעילה שמשתנה משיטפון לשיטפון בשל סחף קרקע. המערכת הזו דינמית, וערוצי הזרימה משנים את מיקומם לכל רוחב הערוץ. מהבחינה הטכנית דגם פזרות הוא אתגר למדידה הידרולוגית, מאחר שהזרימה מתפצלת למספר ערוצים בעלי זרימה רדודה יחסית, ולעיתים מיקום הזרימה עצמה משתנה בין שנים או בין שיטפונות. במורד נחל גוונים, סמוך למקום שהוא נשפך לנחל רמון, קיימת תשתית סלעית הקרובה לפני השטח ויוצרת ערוץ זרימה יחיד המאפשר מדידה הידרולוגית יעילה. בנקודה זו הקמנו מערכת ניטור שמאפשרת מדידה של רום השיטפון ויצירת הידרוגרף (גרף של גובה המים לאורך זמן) של השיטפון. בשלוש שנות הניטור נרשמו ארבעה אירועי שיטפון, שלהידרוגרפים שלהם צורה מיוחדת, אך אופייים לא יידון במסגרת מאמר זה. בתחילת שנת 2022 התרחשו שני שיטפונות, גדול וקטן, במהלך שלושה ימים (איור 2).

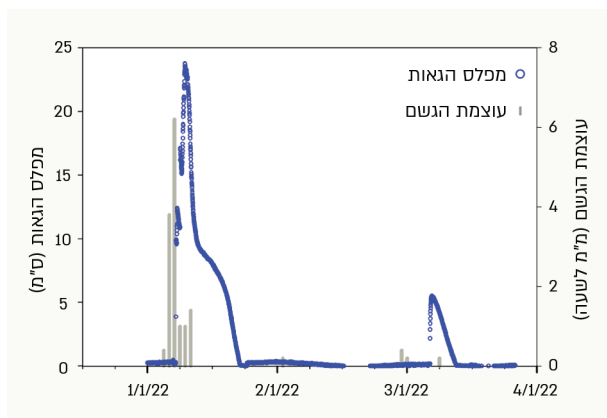
השפעת זמינות המים על הצמחייה

חברת הצומח בנחל גוונים כוללת מינים אירנו-טוראניים (כגון חמד המדבר [*Haloxylon scoparia*] ולענת המדבר [*Artemisia sieberi*] וסהרו-ערביים (כגון חמד השיח [*Haloxylon salicornicum*], יפרוק המדבר [*Fagonia arabica*] וכגוניה ערבית (Ward and Olsvieg-Whitaker, 1993). כמו בכל האזור הצחיח קיצון הביומסה הצמחית מרוכזת בערוצים, ותלויה בזרימה

הובלה) גדלים רק בוואדיות, ותלויים בנגר במנגנון של מקור-מבלע (source-sink). באזורי אקלים צחיחים הצמחייה נמצאת בכתמי המבלע (sink) בין הכתמים תורמי המים (source), שהם אזורי סלעים וקרום קרקע ביולוגי. השיחים גדלים בכתמי המבלע, שהם כתמי קרקע על הסלעים ועל קרומי הקרקע כמעט לא גדלים שיחים, וכך נוצר פסיפס של שלושה סוגי כתמים, שניים תורמים מים ואחד הוא מבלע, ועליו גדלים השיחים (Shachak et al., 1998, 2008; Merino-Martin et al., 2012). באזור הצחיח כמות המשקעים השנתית יוצרת מאזן מים המספיק לקיום שיחים בכל מקום (כולל פסגות הרים, מדרונות ומישורים). לעומת זאת, במדבר צחיח קיצון מאזן המים השנתי אינו מספיק לקיום שיחים. לכן, השיחים יכולים להתקיים רק במקומות שיש בהם מקור מים נוסף. לרוב המקומות האלה הם הוואדיות שנמצאים בתחתית אגן הניקוז ומקבלים מים מכל המדרונות. המדרונות נקראים במקרה זה "מקור", והוואדיות נקראים "מבלע". רק כשמתקיים מנגנון "מקור-מבלע" יכולה להתקיים צמחייה באזור של אקלים צחיח קיצון, והדינמיקה נעשית בקנה מידה של אגן הניקוז כולו.

כיוון שרוב הגשמים אינם מייצרים נגר, רק גשמים מעל עוצמה מסוימת משפיעים על היצרנות באגן הניקוז של המדבר באקלים צחיח קיצון (Chen et al., 2019). הגשמים המעטים מוסיפים רטיבות מסוימת לשכבות הקרקע העליונות. בחלקו הגדול של אגן הניקוז לחלוטית הקרקע משפיעה רק על אצות כחוליות, שעושות פוטוסינתזה.

מכיוון שרוב תכונות המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית באקלים צחיח קיצון תלויות בזמינות מים, פיזור המים בזמן ובמרחב (כולל בעומק הקרקע) הוא הגורם החשוב ביותר. זמינות המים משתנה באגן הניקוז: האזורים הגבוהים גאוגרפית מקבלים רק גשם, בעוד שערוצים קטנים מקבלים גם נגר מהאזור התורם סביבם, ועל כן נקראים ערוצים מסדר ראשון (ליפקין, 1971). כשערוצים מסדר ראשון מתמזגים, נוצר ערוץ מסדר שני וכך הלאה, עד לערוצים המרכזיים שהם ערוצים מסדר גבוה (מעל 4). לכל ערוץ מסדר מסוים יש זמינות מים שונה בהתאם לגודל השטח שתורם לו מים, והדבר יוצר הטרונגיות גבוהה בזמינות המים ובסוגי הנישות ההידרולוגיות (Groner et al., 2023). בנישות שונות באגן הניקוז של מדבר צחיח קיצון יש מגוון ביולוגי שונה. למשל, עצים גדלים רק בערוצים מסדר רביעי ומעלה, ואילו שיחים גדלים בערוצים מסדר גודל שני ומעלה. חד-שנתיים יכולים להופיע בערוצים מסדר גודל ראשון, ובשנים גשומות מאוד גם במדרונות. מכאן נובעת החשיבות הגדולה של ניטור וכימות השיטפונות, שהם מקור המים המרכזי למערכת האקולוגית באזור הצחיח קיצון.



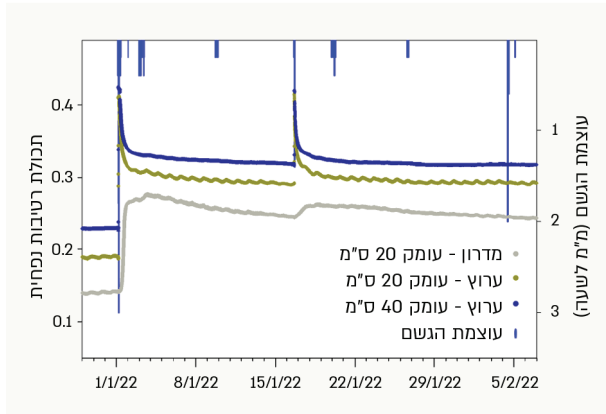
איור 2

הידרוגרף עבור מורד נחל גוונים

הנקודות הכחולות הן רום הגאות, והעמודות האפורות הן עוצמת הגשם. עוצמת גשם נמוכה יוצרת גאות (בתאריך 3.1.22) יומיים לאחר שיטפון גדול.

חלחול המים לעומק הקרקע (איור 3). שימו לב כי בתאריך 5.2.22 לא נמדדה עלייה בתכולת הרטיבות, כלומר לא נצפה תהליך של חלחול מים לקרקע, על אף עוצמת הגשם הגבוהה.

באיור 4 ניתן לראות את סדרי הערוצים 1–5 של נחל גוונים, וכיצד הצמחייה משתנה לפי סדרי הערוצים. במדרונות (ג ו-ד) המשמשים מקור, והנגר זורם מהם למטה, אין צמחייה



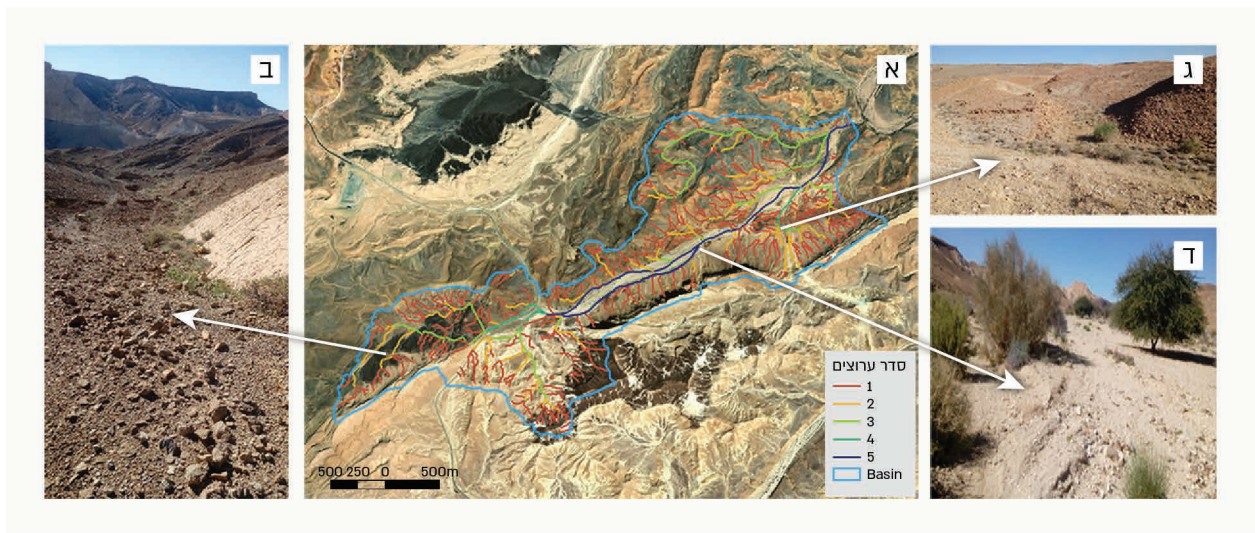
איור 3

תכולת הרטיבות הנפחית ועוצמת הגשם במדרון ובערוץ מסדר גודל שלישי בעומקים שונים

תכולת רטיבות נפחית בעומקים שונים מסומנת באפור (במדרון בעומק 20 ס"מ), בירוק (בערוץ בעומק 20 ס"מ) ובכחול כהה (בערוץ בעומק 40 ס"מ). באירוע ירדו 34 מ"מ גשם, המופיע בעמודות בכחול בהיר.

שיטפונת (Zohary, 1962) ובפעימה-עתודה (pulse-reserve), כלומר באירועי הגשם והנגר שמהווים פעימות של מים ובתת-הקרקע שמשמרת אותם כעתודה (Collins et al., 2014). במחקר זה בחנו את המבנה והתפקוד של מערכת אקולוגית ובתוכה את המגוון הביולוגי והיצרנות הראשונית ביחס לזמינות המים. זמינות זו באה לידי ביטוי בסדר הגודל של הערוצים. במדרונות אין כמעט אפשרות ליצירת מבלע, בערוצים מסדרים נמוכים (1–2) יש מבלע קטן של אזור תורם קטן ועתודה קטנה מאוד בגלל עומק קרקע רדוד מאוד. מאחר שאין בערוצים שיחים, יש יותר סחיפת קרקע, ונותרת כמות קרקע מצומצמת, וכך נוצר היזון חוזר חיובי שבו היעדר שיחים מקטין את כמות הקרקע, וכמות הקרקע הקטנה אינה מאפשרת גדילה של שיחים וחוזר חלילה. לעומת זאת, בערוץ המרכזי (בגוונים מסדר 5) יש מקור של אזור תורם גדול, קרקע (אלוביום) עמוקה, ולכן גם מבלע ועתודה גדולה של מים.

לשם הבנת השפעת ההידרולוגיה על המערכת האקולוגית יש צורך בהתבוננות בחוליה המקשרת בין המערכות. חוליה זו היא כמות המים בקרקע שזמינה לשימוש הצומח. באמצעות מדידת תכולת הרטיבות בקרקע וכימות התכונות הפיזיות של הקרקע ניתן להעריך את כמות המים הזמינה לצמחייה. תכולת הרטיבות הנפחית היא מדד יחסי של נפח המים מתוך כלל נפח הקרקע. יחס זה נמדד באמצעות מכשירי TDR (מדידת רטיבות קרקע בעזרת מוליכות חשמלית), שטמונים בקרקע בעומקים שונים ומאפשרים ניטור רציף של תכולת הרטיבות בקרקע. ניטור זה מאפשר להבין את היחס הישיר בין אירועי השיטפונות לתהליכי



איור 4

ערוצים באגן ניקוז נחל גוונים (א) סדרי ערוצים של אגן ניקוז נחל גוונים, והדגמה של ערוצים מסדר ראשון (ב) ערוץ מסדר שלישי (ג) וערוץ מסדר חמישי (ד).

מדבר צחיח קיצון, ומעורבת בפריקט אירופי eLTER PLUS (במסגרת 2020H) בקביעת תצפיות סטנדרטיות. המשתנים הנמדדים כוללים מדדים של זמינות מים, ובכלל זה תכונות קרקע, רטיבות קרקע (בעזרת TDR רושם כל השנה), ספיקה של שיטפונות, תדירות גשם ושיטפונות. כמו כן, נבחנו משתנים של מגוון ביולוגי ויצרנות, ובכלל זה חרקים מעופפים (בעזרת מלכודות מלייז), פרוקי רגלים על פני השטח (בעזרת מלכודות נפילה יבשות) ופרוקי רגליים בתוך הקרקע (בעזרת משפכי ברליז). נוסף על כך, אנו דוגמים משתנים שמצביעים על בריאות עצי השיטה (למשל עלווה, מדד שטח עלה [Leaf Area Index] והחזרה של קרינה אינפרה-אדומה), ומשתנים שמצביעים על יעילות ניצול המים (יצרנות ראשונית/זמינות מים), ובונים מערכת ניטור לשלמות אקולוגית (ecological integrity) לפי התקן שנקבע ל-eLTER (Firbank et al., 2017). כיוון שהמדידות האלה החלו בשנת 2021, עדיין אין בידינו נתונים. ניטור מכרסמים שנערך במשך 20 שנה, הופסק. אנו שוקלים להוסיף ניטור של ציפורים.

חלק מהמשתנים האלה נמדדים במסגרת הרשת העולמית Life-plan (Lifeplan, 2021). ברשת מנטרים מספר פרמטרים לפי פרוטוקולים אחידים, והניטור נעשה באמצעות מצלמות, מקלטי קול, דגימת נבגים באוויר וחרקים מעופפים. נחל גוונים הוא האתר היחיד בישראל שהוא חלק מהרשת הזאת.

סיכום

כדי לקדם את התחנה יש לנטר את המשתנים הנדרשים על ידי הרשת האירופית עבור מדבריות. כמו כן, יש להתמקד בתהליכים הבאים (על פי Groner et al., 2023): הפיכת גשם לנגר, פיזור מרחבי של הנגר בערוצים הקטנים, הפיכת הנגר (פעילה) לרטיבות קרקע בעומקים שונים לאורך השנה (עתודה), הפיכת רטיבות הקרקע ליצרנות ראשונית, הפיכת ביומסה צמחית לנשר, הקשר בין זמינות נשר למגוון ביולוגי בתוך הקרקע והשפעת המגוון הביולוגי בקרקע על היצרנות הראשונית.

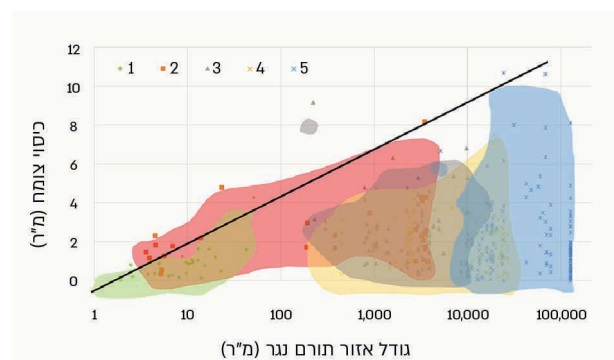
תודות

לקרן לשטחים פתוחים, לקרן ISF, למשרד המדע ולרשויות הניקוזים המלח והערבה על מימון המחקר בתחנת המחקר. לזהבה סיגל ולאסף צוער ולפקחים רבים מרשות הטבע והגנים על שיתוף פעולה. לשילי דור-חיים, לנעה אבריאל-אבני, למשה שחק ולאיתמר גלעדי על עזרה במחקר.

בעלת מערכת הובלה (וסקולרית), ויש רק מעט אצות כחוליות. בערוצים מסדר נמוך (1-3) יש צמחייה של שיחים קטנים וחד-שנתיים. בערוץ המרכזי (5) המהווה מבלע גדול בעל עתודה של מים גם בקיץ, גדלים עצי שיטה גדולים משני מינים: שיטה סילנית (*Acacia raddiana*) ושיטת הנגב (*Acacia pachyceras*) (הסוג שיטה פוצל לאחרונה ורוב השיטים הישראליות, כולל שני המינים האלה, שייכות לסוג *Vachellia*). צילומי רחפן משמשים אותנו למיפוי הצמחייה המעוצה לפי סדרי ערוצים השונים. בהמשך מתבצע אימות בשטח עצמו וזיהוי המינים בשטח. בשלב הבא אנו מחשבים את שטח הכיסוי של כל שיח לפי מין ביחס לסדר ערוץ. עבור כל שיח אנחנו מחשבים את גודל אגן הניקוז התורם מים לנקודה שהוא צומח בה. מתקבל איור של כיסוי צומח לכל חלקה ביחס לגודל האזור תורם הנגר (איור 5), וכל סדר ערוץ מסומן בו בצבע שונה. מאיור זה ניתן לראות שאין ערוצים מסדר נמוך (1-2) שגודל האזור התורם בהם נמוך ושיש בהם כיסוי צומח גבוה (איור 5). הערוצים הגדולים (כחול) מקבלים תרומה של אזור תורם נגר גדול מאוד, וכיסוי הצומח יכול להיות גבוה או נמוך. לעומת זאת, הערוצים הקטנים מקבלים מעט מים בגלל אזור תורם קטן, ועל כן כיסוי הצומח בהם קטן.

חיבור תחנת רמון לרשת האירופית וחזון עתידי

תחנת LTER רמון נשענת על מסורת של ניטור מגוון ביולוגי מאז 1992, ושואפת ליישר קו עם הרשת האירופית בתצפיות סטנדרטיות (Standard Observations). המטרה היא שתחנת רמון תהיה תחנה שמתמחה באקו-הידרולוגיה, כלומר שמתמקדת במשתנים הקשורים לזמינות מים. תחנת רמון היא אחת מתחנות LTER המובילות בנושא



איור 5

היחס בין סדרי הערוצים, גודל האזור תורם הנגר וכיסוי הצומח
סדרי הערוצים מסומנים בצבעים שונים: 1. ירוק, 2. אדום, 3. אפור, 4. צהוב, 5. כחול.

- Martinez-Valderrama F, Guirado E, and Maestre FT. 2020. Desertifying deserts. *Nature Sustainability*, 3, 572–575.
- Merino-Martín L, Breshears DD, Moreno-de las Heras M, Villegas JC, Pérez-Domingo S, Espigares T, et al. 2012. Ecohydrological source-sink interrelationships between vegetation patches and soil hydrological properties along a disturbance gradient reveal a restoration threshold. *Restoration Ecology*, 20(3), 360–368.
- Ruiz N, Saltz D, and Ward D. 2006. Signal selection in a desert lily, *Pancreatium sickenbergeri*. *Evolutionary Ecology Research*, 8(8), 1461–1474.
- Safriel U, Ezcurra E, Tegen I, Schlesinger WH, Nellemann C, Batjes NH, et al. 2006. Deserts and the Planet. Chap. 3 In: Ezcurra E (Ed). *Global Deserts Outlook*. UN Environmental Program.
- Saltz D, Rubenstein DI, and White GC. 2006. The impact of increased environmental stochasticity due to climate change on the dynamics of asiatic wild ass. *Conservation Biology*, 20(5), 1402–1409.
- Saltz D, Schmidt H, Rowen M, Karnieli A, Ward D, and Schmidt I. 1999. Assessing grazing impacts by remote sensing in hyper-arid environments. *Journal of Range Management*, 52(5), 500–507.
- Saltz D, Rowen M, and Rubenstein DI. 2000. The effect of space-use patterns of reintroduced Asiatic wild ass on effective population size. *Conservation Biology*, 14(6), 1852–1861.
- Schmidt H and Karnieli A. 2001. Sensitivity of vegetation indices to substrate brightness in hyper-arid environment: the Makhtesh Ramon Crater (Israel) case study. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3503–3520.
- Shachak M, Boeken B, Groner E, Kadmon R, Lubin Y, Meron E, et al. 2008. Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *Bioscience*, 58(3), 209–221.
- Shachak M, Sachs M, and Moshe I. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475–483.
- Shenbrot G and Krasnov B. 1997. Habitat relationships of the lizard fauna in the Ramon erosion cirque, Negev Highlands (Israel). *Journal of Zoology*, 241, 429–440.
- Shenbrot G, Krasnov B, and Burdelov S. 2010. Long-term study of population dynamics and habitat selection of rodents in the Negev Desert. *Journal of Mammalogy*, 91(4), 776–786.
- Ward D and Olsvig-Whittaker L. 1993. Plant species diversity at the junction of two desert biogeographic zones. *Biodiversity Letters*, 1(6), 172–185.
- Ward D, Olsvig-Whittaker L, and Lawes M. 1993. Vegetation-environment relationships in a Negev Desert erosion cirque. *Journal of Vegetation Science*, 4(1), 83–94.
- Ward D, Saltz D, Rowen M, and Schmidt I. 1999. Effects of grazing by re-introduced *Equus hemionus* on the vegetation in a Negev desert erosion cirque. *Journal of Vegetation Science*, 10(4), 579–586.
- Ward D, Saltz D, and Olsvig-Whittaker L. 2000. Distinguishing signal from noise: Long-term studies of vegetation in Makhtesh Ramon erosion cirque, Negev desert, Israel. *Plant Ecology*, 150(1–2), 27–36.
- Zohary M. 1962. *Plant Life of Palestine, Jordan and Israel*. Jerusalem: The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, Israel.
- גורנר א ושחק מ. 2021. LTER ההיסטוריה של הקמת הרשת בעולם ובארץ ומצב הרשת. שדה בוקר: הוצאת המארג.
- דרורי ב ובר-קוטיאל פ. 2012. שחזור המערכת האקולוגית במחצבות הכרייה הנטושות במכתש רמון באמצעות גישה אקו-גאומורפולוגית. **אקולוגיה וסביבה**, 13(1), 8–10.
- ליפקין י. 1971. **הצמחייה של דרום הנגב** (עבודה לקבלת תואר דוקטור). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- Avni Y and Zilberman E. 2006. Landscape evolution triggered by neotectonics in the Sede Zin region, central Negev, Israel. *Israel Journal of Earth Sciences*, 55, 189–208.
- Brown JH and Ernest SKM. 2002. Rain and rodents: Complex dynamics of desert consumers. *BioScience*, 52, 979–987.
- Cohen S, Groner E, Peters A, and Segoli M. 2021. The impact of roads on the redistribution of plants and associated arthropods in a hyper-arid ecosystem. *Journal of Insect Science*, 21(4), 1–10.
- Collins SL, Belnap J, Grimm N, Rudgers JA, Clifford N, and Dahm P. 2014. A multiscale, hierarchical model of pulse dynamics in arid-land ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 397–419.
- Finzi Y, Avni S, Maroz A, Avrieli-Avni N, Ashckenazi-Polivoda S, and Ryvkin I. 2019. Extraordinary geodiversity and geoheritage value of erosional craters of the Negev craterland. *Geoheritage*, 11(3), 875–896.
- Firbank LG, Bertora C, Blankman D, Delle Vedove G, Frenzel M, Grignani C, et al. 2017. Towards the co-ordination of terrestrial ecosystem protocols across European research infrastructures. *Ecology and Evolution*, 7, 3967–3975.
- Groner E, Babad A, Berda N, and Shachak M. 2023. Towards an extreme world: the hyper-arid ecosystem as a natural model. *Ecosphere*, 14(6), e4586.
- Khokhlova IS, Krasnov B, Shenbrot GI, and Degen A. 1994. Factors determining the pattern of seasonal-changes of body-weight in some rodents in the erosive crater Ramon (Upland Negev, Israel). *Zoologicheskyy Zhurnal*, 73(11), 106–114.
- Krasnov B, Shenbrot GI, Medvedev SG, Vatschenok VS, and Khokhlova IS. 1997. Host-habitat relations as an important determinant of spatial distribution of flea assemblages (Siphonaptera) on rodents in the Negev. *Parasitology*, 114, 159–173.
- Krasnov B and Shenbrot G. 1996. Spatial structure of community of darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) in the Negev Highlands, Israel. *Ecography*, 19(2), 139–152.
- Krasnov B, Shenbrot G, Khokhlova I, and Ivanitskaya E. 1996. Spatial patterns of rodent communities in the Ramon erosion cirque, Negev Highlands, Israel. *Journal of Arid Environments*, 32(3), 319–327.
- Krasnov B and Shenbrot G. 1998. Structure of communities of ground-dwelling animals at the junction of two phytogeographic zones. *Biogeography*, 25(6), 115–1131.
- Krasnov B and Ayal Y. 1995. Seasonal-changes in darkling beetle communities (coleoptera, Tenebrionidae) in the Ramon erosion cirque, Negev Highlands, Israel. *Journal of Arid Environments*, 31(3), 335–347.
- Lifeplan. 2021. Lifeplan – A Planetary Inventory of Life. University of Helsinki. <https://www.helsinki.fi/en/projects/lifeplan>. Viewed 23 Aug 2023.



שיטת הנגב בנחל גונים, בקצה הדרומי של מכתש רמון, על רקע מדרונות הנחל
צילום: אלי גרונר



נוכחות מכלואים בין שיטה סלילנית לשיטת הנגב בנחל שיטה

תום שיפריין^{1,2} | עדי פייגנבוים¹ | גלעד רייספלד^{2,1} | ניצן שגב³ | בני שלמון³
 נעמי הומינר^{1,2} | רתם אטיאס^{2,1} | ענבל פיכמן³ | סימה קגן¹ | גלינה שקלאר¹ | אלי גרונר³
 ליאור אשד-וויליאמס² | רקפת דוד-שורץ^{1*}

- 1 המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
- 2 הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים
- 3 מו"פ מדבר וים המלח
- * rakefetd@agri.gov.il

תקציר

שנוצרו על עצי המכלוא הראתה כי מדובר בזרעים שנוצרו בעקבות הפריה של אחד משלושת הגנוטיפים האפשריים: שיטת הנגב, שיטה סלילנית או המכלוא ביניהן. תוצאות המחקר הנוכחי מדגישות את החשיבות של מחקר ארוך טווח ומעידות גם על חשיבות של שילוב מחקר גנטי במיני מפתח. הימצאות מכלואים בערבה מרמזת על יכולת טובה לשגשג בתנאים קשים. אי לכך, רצוי לקיים מחקרי המשך כדי לעמוד על חשיבותם של המכלואים לאקולוגיה המקומית לנוכח שינוי האקלים וכדי לבחון את הפוטנציאל שלהם לשמש ככנות בנטיעות באזורים צחיחים.

עצי שיטה הגדלים בערוצי נחלים בערבה הם מיני מפתח, ומגוון היצורים החיים המתקיימים באזור תלויים בהם. במסגרת מחקר ארוך טווח בנחל שיטה המתנהל בשנים האחרונות (Long Term Ecological Research, LTER) נמצאו עצי שיטה החשודים כמכלואים בין שיטה סלילנית לשיטת הנגב. לזיהוי גנטי ודאי של העצים החשודים חשיבות גדולה בהבנת תהליכי השתנות אוכלוסיית העצים, שעשויים לגרום שינויים במערכת האקולוגית כולה. במחקר הנוכחי פותחו עשרה סמני DNA המבדילים בין מיני השיטה, ובהם סמן כלורופלסטי המעיד על מין עץ האם שהמכלוא נוצר ממנו. כל העצים החשודים נמצאו כמכלואים. תוצאות הסמן הכלורופלסטי העידו כי רוב המכלואים נוצרו בעקבות הפריה של שיטה סלילנית על ידי שיטת הנגב, אולם נמצאו גם מכלואים שהם תוצאה של הפריה בכיוון ההפוך. עצי המכלוא התאפיינו בעלווה ובפריחה שופעות, אך לא הניבו תרמילים, פרט לארבעה עצים מתוך 26, שהניבו תרמילים בודדים. עובדה זו מרמזת על מחסום רבייתי שלא יאפשר התפתחות של מכלוא. אנליזה גנטית של הזרעים הבודדים

מילות מפתח

מחסום רבייתי, סמני DNA, שינוי האקלים, תמותת עצים

tortilis) הנחשב כעמיד ביותר ליובש, משתרע לאורך בקעת ים המלח והערבה (הלוי, 1971א, ב; שמידע ושות', 2015). בדומה למיני צמחים אחרים באזורים צחיחים, רוב עצי השיטה בערבה מרוכזים לאורך ואדיות שזורמים בהם מי שיטפונות. במרבית המקרים השיטים הן העצים היחידים הגדלים בוואדי, ומכאן חשיבותן לחי ולצומח המקומי (בהרב, Munzbergova and Ward, 2002; Or and Ward, 1987; Stavi et al., 2015). ההנחה הרווחת היא כי השיטים מנצלות את מי השיטפונות לצורך גדילתן, ואכן, נמצא קשר חיובי בין גודל אגן היקוות השיטפונות לבין גודל העצים הגדלים בו (Lahav-Ginott et al., 2001). עם זאת, לאחרונה דווח כי שיא גדילת הגזע וכן שיא זרימת מוהל העצה והדיות מתרחשים בחודשים מאי-יוני ואוגוסט-נובמבר, במקביל לימים החמים והיבשים ביותר בשנה (Winters et al., 2018). המחקר הציע כי עצי השיטה בערבה מסתמכים בעיקר על מים בעומק 4–6 מטר, וגדלים לרוב במרווחים המאפשרים ניצול מרבי של המים (וינטרס ושות', 2019; Winters et al., 2018). אסטרטגיה זו מאפשרת לעצים להגיע לשיא פעילותם בעונה החמה גם כשהטמפרטורה מגיעה ל-45 מעלות צלזיוס. נמצא כי בעיצומו של הקיץ העלים מאבדים תוך שעה יותר מפי שלושה מכמות המים שהם מכילים. למרות זאת, לא נמצאה ירידה בשיעור הדיות במהלך השעות החמות ביותר של היום (אבן ארי ושות', 1980; שלמון, 1981). ממצא זה רמז כי שיעור הדיות הגבוה קשור ליכולת לנצל מים בעומק הקרקע. שמידע ואור (1983) הציעו כי השיטים טרם עברו התאמה לתנאי הארץ ביחס לאופי גידולן באזורי אפריקה, ולכן שינויים בתנאי בית הגידול עלולים לפגוע בהן קשות ולגרום לתמותה ניכרת. השינויים יכולים להיות טבעיים, כמו רצף שנים שחונות, או עקב פעילות האדם שבעטיה כמות המים שמגיעה לעצים מצטמצמת (Lövenstein et al., 1991). לנוכח השינויים בסביבה עולה חשיבות הניטור ואפיון אוכלוסיות השיטים הטבעיות.

נוסף על יכולת עמידותן בתנאי היובש הקשים, המשך קיומן של השיטים בערבה תלוי גם ביכולת הרבייה שלהן. ההאבקה של פרחי עצי השיטה נעשית באמצעות הרוח או באמצעות חרקים מקבוצות שונות – חיפושיות, צרעות, דבורים, זבובים ופרפרים. כמו כן, הוצע כי הפרחים מואבקים גם על ידי ציפורים ויונקים (Tybirk, 1993). במחקר שנערך בדרום הערבה על עצי שיטה סוככנית ושיטה סלילנית, נמצא שרק כ-30% מפרחי השיטה מתפתחים לפרי (פלד, 1988). הזרעים מתפתחים בתרמילים שהפצתם מתאפשרת גם על ידי בעלי חיים, כגון צבאים וראמים שניזונים מהפירות, וגם בזרמי שיטפונות (הלוי, 1971א, ב). נביטת שיטים מתרחשת בשנים ברוכות גשמים או לאחר שיטפונות, והתיעוד מראה 10–20 נבטים בשטח של 1 מ"ר, שהצטמצמו ל-2–5 נבטים לדונם תוך כחודש בעקבות רעיית עיזים בשטח. עם זאת,

עצים הגדלים במרחב הטבעי נחשבים כמיני מפתח מהנדסי סביבה (ecosystem engineers), לא כל שכן, אלה הגדלים במערכות אקולוגיות צחיחות. תרומת העצים כמין מפתח לייצוב הקרקע ולמחזור נוטריינטים מתבטאת בנוכחותם של מיני צמחים ובעלי חיים רבים החוסים בצילם. שגשוג והמשך קיומן של אוכלוסיות עצים באזור הצחיח מאפשר את יציבותה של המערכת האקולוגית המקומית. אי לכך, ישנה חשיבות רבה בניטור ארוך טווח (Long Term Ecological Research, LTER) של אוכלוסיות עצים באזורים הצחיחים.

במסגרת תוכנית המתאר הארצית ליער וייעור (תמ"א 22) הוטלה על קק"ל האחריות לשמר שטחים בהיקף של 40,000 דונם בדרום הנגב ובערבה, שגדלים בהם עצי שיטה. בתמיכה משותפת של קק"ל ורשות הטבע והגנים נערך סקר שיטים נרחב, וממצאיו הצביעו על תמותת עצים שתיעודה החל כבר בשנות ה-70 של המאה הקודמת (אשכנזי, 1995). בעקבות ירידה בכמות המשקעים שהחלה בשנת 1995 ולוותה בתמותת עצי שיטה ובכגיעה בחידושם הטבעי בערבה הדרומית, החלה רשות הטבע והגנים בשנת 2000 בניטור ארוך טווח של עצי שיטה במספר ואדיות במחוז אילת במטרה לבחון אם וכיצד הם מושפעים משינוי האקלים (פרלברג ושות', 2013; גרונר ושות', 2017). במטרה להרחיב את אזורי הניטור החל בשנת 2015 ניטור ארוך טווח של השיטים הגדלות בנחל שיטה (LTER Israel n.d). ניטור זה מנוהל על ידי מו"פ מדבר וים המלח, המרכז לחקר השיטים, קק"ל ו-LTER ישראל. נחל שיטה, המאופיין בחורש פתוח ובעלתון עצי שיטה, משמש מודל למחקר גאו-הידרו-אקולוגי מאחר שהוא נחשב כמערכת טבעית תלוית נגר. בנחל נבחנת השפעתם של משטר הגשמים, הנגר והגאומורפולוגיה על מצב עצי השיטה (גרונר ושות', 2017). במאמר שפורסם לאחרונה מתארים ארמוזה-זבולוני ושות' (2023) את חשיבותה של התחנה לניטור ארוך הטווח ואת השפעות הנגר על פיזור השיטים בנחל שיטה שנמדדו במסגרת ניטור ארוך טווח.

אזור הנגב והערבה הוא גבול התפוצה הצפוני של שלושה מינים מתוך כ-1,300 המשתייכים לסוג שיטה (*Acacia*) ממשפחת הקטניתיים (Fabaceae) ומתת-משפחת המימוסיים (Mimosoideae) (Kyalangalilwa et al., 2013).

שיטה סלילנית (*Acacia raddiana*), הנפוצה מבין מיני השיטים הגדלות בישראל, גדלה באזור בקעת ים המלח בכל רחבי הנגב ובערבה. שיטת הנגב (*Acacia pachyceras*), שהיא המין העמיד ביותר בפני קור, גדלה באזורים הגבוהים של הנגב הדרומי, ואילו המין שיטה סוככנית (*Acacia*)

ומעשרה עצים מאוכלוסייה של שיטה סלילנית בנחל שיטה. העלים הוכנסו ישירות למכל עם חנקן נוזלי, והוקפאו במינסוס 80 מעלות צלזיוס.

פיתוח סמני DNA

פיתוח סמני DNA התבצע תוך שימוש ברצף הגנים שהתבטאו בזמן איסוף הדוגמאות. אוסף הרצפים שהתקבל נקרא טרנסקריפטום, והוא נבנה לפי שיטה ששימשה אותנו גם בעבר (Fox et al., 2018). הקריאות של שיטת הנגב מופו על הטרנסקריפטום של השיטה הסלילנית, ואיתור שונות בין שני המינים לזיהוי סמני DNA מסוג SNPs נעשה באמצעות תוכנת SAMtool version 1.9 (Li and Dewey, 2011). כדי לצמצם את הקריאות לרמת ודאות גבוהה נערכה אנליזה ידנית בתוכנת GVI version 2.8.2 (Integrative Genomics Viewer). למקטעי ה-DNA שנמצאה בהם שונות שמבוססת על נוקלאוטיד בודד, שהוא גם חלק מאתר חיתוך של אנזים רסטריקציה, תוכננו פריימרים באמצעות תוכנת Primer3 (Untergasser et al., 2012). הפעלת הסמנים נעשתה על DNA גנומי שהופק מדגימות עלים בשיטת CTAB (CetylTrimethylAmmonium Bromide). שיטת Amplified Polymorphic Sequences (CAPS) שימשה לבחינת השונות הגנטית (Michaels and Amasino, 1998). לפי שיטה זו, מקטעי ה-DNA בעלי השונות הוגברו באמצעות ריאקציית PCR, ולאחר מכן נחתכו באנזים רסטריקציה מתאים והורצו על ג'ל אגרוז, בדומה למה שמתואר אצל Houminer ושות' (2021).

אפיון מורפולוגי ופנולוגי של עצי שיטה

לצורך אפיון מורפולוגי וגנטי נטרו עשרה עצי שיטת הנגב בנחל ציחור ועשרה עצי שיטה סלילנית בנחל שיטה. נוסף על כך, עצים החשודים כמכלואים בשל מופעם השונה נטרו בהתאם לסימונם במפה כפי שתועדו בשטח. הניטור נעשה במסגרת שבעה ביקורים בשטח בין יוני 2020 ליוני 2021. המדדים שנבדקו היו מדד ירקות שהוערך על פי ניתוח חזותי של כמות העלווה על העץ, ונע בטווח 0-5 (=0 אין עלווה בכלל, 1= פחות מ-20% עלווה, 2= עד 50% עלווה, 3= מעל 50% עלווה, 4= מעל 80% עלווה, 5= כיסוי מלא, גרונר ושות', 2017), נוכחות פריחה שהוערכה על עץ אחד של שיטת הנגב ועץ אחד של שיטה סלילנית בנחל שיטה, ונקבעה כאחוזים מעוצמת הפריחה המרבית (0 מציין שאין פריחה, ו-100% מציין את שיא הפריחה), ונוכחות תרמילים (יש / אין). נוסף על כך, הוערכה צורת עץ המכלוא ביחס לשיטה הסלילנית (משולש הכורך) או לשיטת הנגב (אליפסה).

איסוף, ריבוי, ובדיקת סמנים של צאצאי עצי המכלוא
בסיור שנערך ביוני 2021 נאספו תרמילים בודדים שנמצאו

פרטים שנבטו סמוך לשיחים קוצניים שורדים ומתפתחים הודות להגנה שהצמחייה הקוצנית מספקת להם. התבססות של שיטים בערוצים רחבים אינה מתאפשרת בשל שיטפונות חזקים. מסיבה זו תיתכן התבססות של עצי השיטה רק על גבי שרטונות ובשולי ערוצי הזרימה (פרלברג ושות', 2013). ירידה בנביטת השיטים נגרמת גם בשל תקופות יובש ועלייה בטמפרטורות (הלוי, 1971, א, ב) המתרחשות בעקבות שינוי האקלים.

בנחל שיטה גדלות שיטה סלילנית ושיטת הנגב באופן טבעי, וכן נמצאו בו עצים החשודים כמכלואים בין שני המינים. העצים האלה דווחו כשופעי עלווה ופריחה וחסרי תרמילים (אשכנזי, 1995; גרונר ושות', 2017). ממופע העצים עולה הרושם שהעצים החשודים כמכלואים גדלים טוב יותר מאשר עצים של כל אחד מהמינים, אולם יש צורך בניסויים מבוקרים כדי לאשש הנחה זו. מאחר שזיהוי עצים שמסתמך על מדדים מורפולוגיים איננו חד-משמעי, ומאחר שיש צורך בהוכחה כי מדובר במכלואים עוד בטרם ייבחנו תכונות העצים, עלה הצורך באפיון גנטי מולקולרי של העצים החשודים. לזיהוי מדויק של העצים בשטח השלכות באשר להמשך ולמסקנות המחקר ארוך הטווח, וכן לתכנון פעולות ממשק עתידיות לטובת שימור השטחים הטבעיים.

בשנים האחרונות פיתוח סמנים גנטיים מולקולריים נעשה אפשרי גם עבור מיני צמחים שאינם צמחי מודל הודות לטכנולוגיות ריצוף DNA מהדור החדש. כיום ניתן בעלויות נמוכות יחסית לפתח סמנים מולקולריים על בסיס השונות הגנטית המצויה ברצף ה-DNA המקודד לגנים (הטרנסקריפטום, transcriptome). טכנולוגיית ריצוף זו שימשה בעבר לפיתוח סמנים מולקולריים מבוססי שונות בנוקלאוטיד אחד (Single Nucleotide Polymorphisms, SNPs) לזיהוי מיני השיטים *Acacia auriculiformis* ו-*Acacia mangium* (Wong et al., 2012). כמו כן, שיטת ריצוף זו שימשה לפיתוח סמנים לזיהוי מכלואי אורנים (Houminer et al., 2021). במחקר זה השתמשנו בריצוף מהדור החדש כדי לפתח סמני DNA שבאמצעותם זיהינו מכלואים בין שיטת הנגב לשיטה סלילנית בנחל שיטה, ואפיינו אותם בהשוואה לעצים הגדלים בסביבתם.

שיטות מחקר

חומר גנטי

כדי לפתח סמנים מולקולריים המבדילים בין מיני השיטים, נאספו בסתיו 2019 עלים ירוקים מעשרה עצים מאוכלוסייה של שיטת הנגב הגדלים בנחל ציחור סמוך לכביש 40,

בחינה ב-PCR אותרו עשרה סמנים ברורים המבדילים בין שיטה סלילנית לבין שיטת הנגב (איור 1). תוצאה זו מצביעה על פוטנציאל של כמה עשרות SNPs נוספים שניתן לפתח ממאגר הנתונים שבידנו.

זיהוי סמן כלורופלסטי

במהלך סריקת הסמנים נמצא סמן (מספר 220) שהראה מופע חד-מיני ולא את המופע המשולב של מכלוא. בבדיקה ביואינפורמטית נמצאה התאמה מלאה בין רצף המקטע לבין גן ב-DNA הכלורופלסטי של מספר מיני שיטה. מאחר שהכלורופלסט עובר בהורשה אימהית בעצי שיטה, סמן זה מאפשר לזהות את מין עץ האם שהמכלוא נוצר ממנו.

זיהוי מכלואים בנחל שיטה

הסמנים שפותחו שימשו לקביעת הגנוטיפ של העצים החשודים כמכלואים (איור 2). התוצאות מצביעות על כך שהעצים החשודים היו עצי מכלוא. מאנליזה של הסמן הכלורופלסטי (סמן 220) על עצי המכלוא נמצא כי 19 מכלואים היו בעלי כלורופלסט של שיטה סלילנית, ול-7 מכלואים היה כלורופלסט של שיטת הנגב.

בחינת הצאצאים של המכלואים

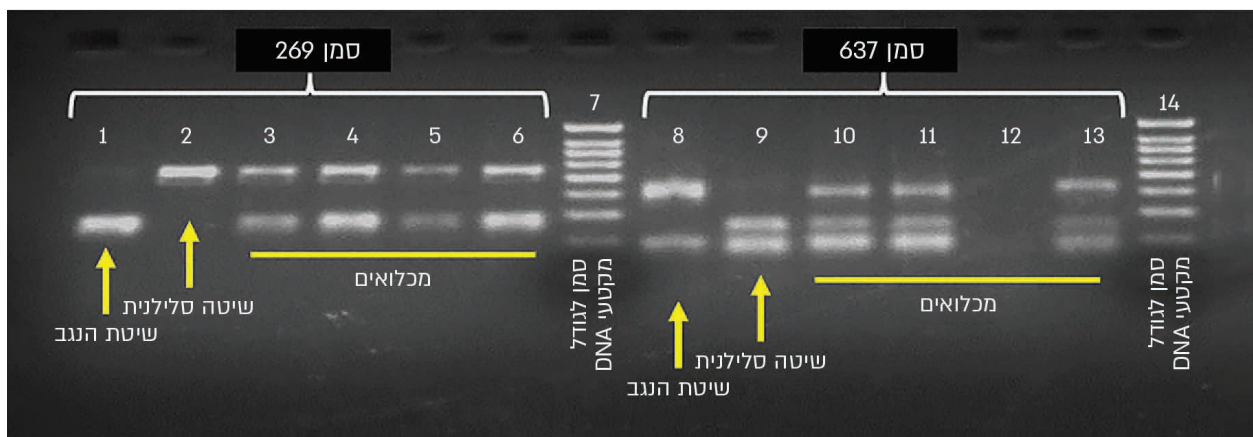
מתוך כלל עצי המכלוא אותרו ארבעה עצים שנמצאו עליהם תרמילים בודדים. הזרעים (7 מעץ 8,972 מעץ 2,2031 מעץ 10,258 ו-10 מעץ 255) הונבטו, ומהנבטים הופק DNA לאנליזה גנוטיפית באמצעות 9 הסמנים הגרעיניים. התוצאות הראו

על ארבעה עצים שאומתו כמכלואים על פי הסמנים הגנטיים. לאחר שבוצעה פציעה בקליפת הזרע, הושרו הזרעים במים למשך כיממה, ונזרעו בתבנית הנבטה בחדר גידול מבוקר. מ-27 הנבטים שצמחו הופק DNA, וכלל הסמנים המולקולריים שפותחו בעבודה זו נבדקו עליו. מהתוצאות חושבו מדדי Interspecific Heterozygosity (IH) ו-Hybrid Index (HI). במדד HI הערך 1 מעיד על כך שכל הסמנים מציגים מופע הטרוזיגוטי (מכלוא), בעוד שערך 0 מעיד שכל הסמנים מציגים מופע הומוזיגוטי (מין טהור). במדד HI הערך 0 מעיד על כך שכל הסמנים שייכים לשיטת הנגב, והערך 1 מעיד שכל הסמנים הם של השיטה הסלילנית. שילוב המדדים נותן ערך המאפיין את משקלו הגנטי של כל מין במכלוא הנבדק. לבדיקת הבדלים בין עצי האם התבצע ניתוח סטטיסטי מסוג ANOVA.

תוצאות

פיתוח סמני DNA גרעיניים

הקריאות של שיטת הנגב מופו על הטרנסקריפטום של השיטה הסלילנית בשיעור של 76.2%. תוצאות איתור השונות בין המינים סוכמו ב-82,000 SNPs. מספרם ירד ל-8,000 לאחר סינון לפי איכות קריאה (מעל 100), עומק קריאה (מעל 30) והומוזיגוטיות מלאה. בשלב הבא נסרקו ה-SNPs בתוכנת IGV כדי לאתר SNPs מוחלטים שאין בסביבתם שונות נוספת. כך, נבחרו 140 סמנים שתוכננו להם פריימרים ונמצאו אנזימי רסטריקציה מתאימים. לאחר



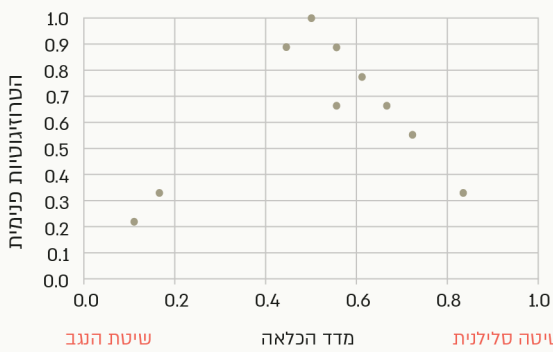
איור 1

אימות של סמני DNA שפותחו ממאגר הנתונים

הרצת תוצרי חיתוך באנזימים על גל אגרוז של שני סמנים שונים שהוגברו באמצעות PCR מ-DNA גנומי של שיטת הנגב ושיטה סלילנית (חיצים צהובים) וארבעה עצים החשודים כמכלוא. ניתן לראות הבדל ברור באורכי המקטעים המתקבלים מחיתוך באנזימי הרסטריקציה השונים. בסמן 269 (עמדות 1-6) נחתך מקטע ה-DNA של שיטת הנגב, ובסמן 637 (עמדות 8-13) נחתך מקטע ה-DNA של השיטה הסלילנית. ניתן לראות את המופע המשולב במכלואים (עמדות 3-6 ו-10, 11, 13. דוגמה 12 לא עבדה מסיבות טכניות). בעמדות 7 ו-14 מוצג סמן מסחרי לגודל מקטעי DNA.

איור 2

מפת עצי שיטה החשודים כמכלואים בערוץ המרכזי של נחל שיטה
 בתוך המסגרת הכחולה עצים שנבדקו גנטית. עצי שיטה סלילנית שאינם חשודים כמכלואים, מופיעים בתצלום האווירי בלבד, ואינם מסומנים בעיגול.



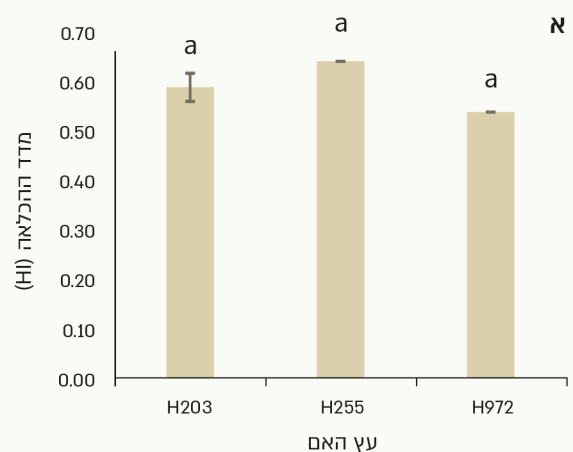
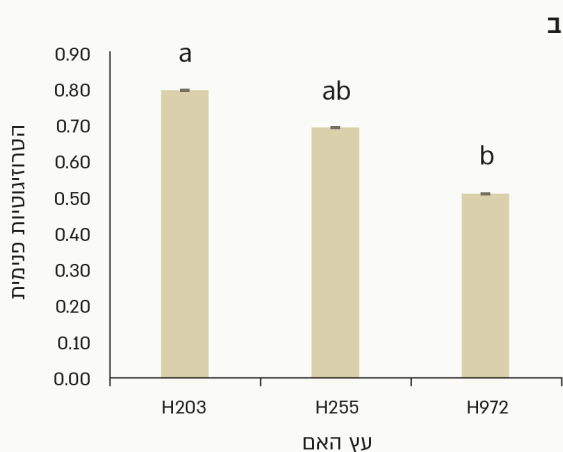
כי התפצלות הסמנים שונה מזו שבעצי האם, וגם שונה בין הצאצאים של אותו עץ אם. התוצאות הצביעו על האבקה ממקורות שונים. שלושה נבטים (972A, 972B, 2031A) הם תוצאה של הפריה על ידי שיטת הנגב, ושאר הנבטים הם תוצאה של האבקה על ידי שיטה סלילנית או מכלוא.

באמצעות תוצאות הסמנים חושבו מדד ההכלאה (HI) ורמת ההטרוזיגוטיות הבין-מינית (IH) לכל פרט. רוב הצאצאים הציגו יותר סמנים של שיטה סלילנית מאשר סמנים של שיטת הנגב (איור 3). שלושה עצי אם נכללו במבחן הסטטיסטי למציאת שונות (לעץ H258 היו רק שני צאצאים, ולכן לא נכלל במבחן הסטטיסטי). לא נמצאה שונות בין קבוצות הצאצאים לפי עץ האם במדד ההכלאה ($P = 0.43$), אולם הצאצאים של H203 היו הטרוזיגוטיים יותר מאשר הצאצאים של עץ H972 ($P = 0.005$). ההטרוזיגוטיות של צאצאי עץ H255 הייתה דומה לזו של שתי קבוצות האחרות (איור 4).

איור 3

מדד ההכלאה לעומת הטרוזיגוטיות פנימית

במדד ההכלאה ערך של 0 מייצג את שיטת הנגב, וערך של 1 מייצג את השיטה הסלילנית. הערך 1 בהטרוזיגוטיות כללית מעיד שכל הסמנים הטרוזיגוטיים, בעוד שערך 0 מעיד שאין סמנים הטרוזיגוטיים.



איור 4

מדד ההכלאה (א) והטרוזיגוטיות פנימית (ב) בצאצאים של שלושה עצי מכלוא בנחל שיטה
 איתיות קטנות שונות מייצגות הבדל סטטיסטי ($P < 0.005$).

מדדים מורפולוגיים ופנולוגיים

עוצמת העלווה הירוקה נמדדה. מהממצאים עולה כי בכל המועדים הציגו עצי שיטת הנגב עלווה בעוצמה גבוהה יותר מזו שהציגו עצי השיטה הסלילנית. בעצי המכלוא נצפתה עלווה בעוצמה שהייתה גבוהה מזו של עצי השיטה הסלילנית ונמוכה מזו של שיטת הנגב (טבלה 1).

תצפיות שהתבצעו בחלון זמנים קצר יחסית במחקר זה רמזו כי פנולוגיית הפריחה במכלואים דומה יותר לזו של השיטה הסלילנית, אם כי דרושות תצפיות נוספות במרווחי זמן קצרים יותר כדי לקבוע זאת בוודאות. פנולוגיית הפריחה דומה לזו שהציע בני שלמון תוך התבססות על תצפיותיו

שנערכו במהלך 20 השנים האחרונות, שבמהלכן תועדה פריחה של שיטה סלילנית מיוני עד דצמבר, ופריחת שיטת הנגב מיוני עד נובמבר (בני שלמון, מידע אישי). כפי שצוין קודם, הפריחה הניבה רק תרמילים בודדים על ארבעה עצים מתוך 26 העצים שהוכחו כמכלואים באמצעות הבדיקות הגנטיות. לאחר קבלת התוצאות המולקולריות, נערך סיור נוסף בנחל שיטה, ובמסגרתו צולמו כל העצים שנמצאו כמכלואים, כמו גם עצי שיטה סלילנית ושיטת הנגב. מתצלומי העצים ניתן לראות כי מבנה עצי המכלוא דומה למבנה עצי שיטת הנגב, שצורתם דומה לאלפיסה, ולא לעצי השיטה הסלילנית שצורתם דומה יותר למשולש הפוך (איור 5).

מין	מספר עצים	17.6.20	29.7.20	20.10.20	16.11.20	16.3.21	29.4.21	9.6.21
שיטת הנגב	10	3.95 ± 0.28	4.80 ± 0.13	4.70 ± 0.17	5 ± 0	4 ± 0	4 ± 0	5 ± 0
שיטה סלילנית	10	2.3 ± 0.11	2.16 ± 0.16	1.65 ± 0.22	3.2 ± 0.33	3 ± 0.15	3 ± 0.15	-
מכלואים	24	-	-	3.38 ± 0.3	-	3.41 ± 0.19	3.22 ± 0.17	2.86 ± 0.21

טבלה 1

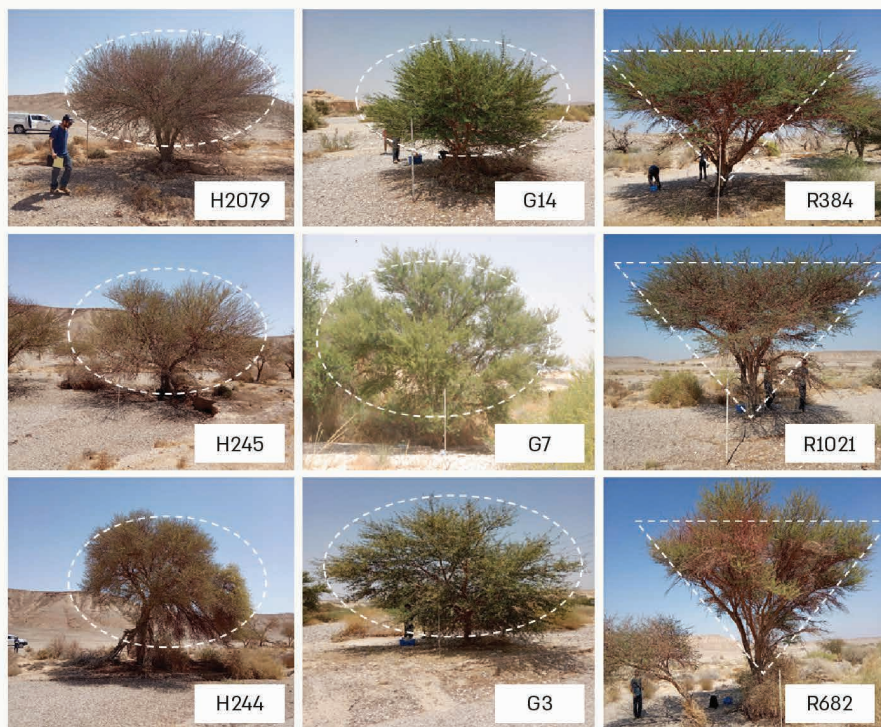
עוצמת העלווה הירוקה בקבוצות העצים השונות

עוצמת העלווה נמדדה בשבעה ביקורים בנחל שיטה שנערכו בין יוני 2020 ליוני 2021 (התאריכים מצוינים בשורה העליונה). "מדד ירקות" – מדד לכימות העלווה על העץ, נע בטווח 0-5, 0 = אין עלווה בכלל, 1 = פחות מ-20% עלווה, 2 = עד 50% עלווה, 3 = מעל 50% עלווה, 4 = מעל 80% עלווה, 5 = כיסוי מלא.

מכלוא

שיטת הנגב

שיטה סלילנית



איור 5

צורתם הכללית של עצי השיטה בנחל שיטה

עצי המכלוא דומים יותר בצורתם הכללית לעצי שיטת הנגב.

דין ומסקנות

רוב עצי השיטה בנחל שיטה הם שיטה סלילנית. יש לציין, שבסוף המחקר הנוכחי נבדקו שלושה מתוך ארבעה עצי שיטה הנגב, ונמצא כי שניים מהם הם למעשה עצי מכלוא ולא שיטה הנגב. ייתכן שמספר עצי שיטה הנגב הידועים בנחל שיטה נמוך מכפי שחשבו בעבר. אנו ממליצים לבחון גנטית את כלל עצי שיטה הנגב בנחל שיטה כדי לאמוד את שכיחותם נכון להיום. מעניין לציין כי מבנה העץ הכללי של המכלואים נמצא דומה לזה של שיטה הנגב (איור 5).

עקרות בעצי מכלוא

מתוך 26 העצים שאומתו כמכלואים והציגו פריחה בעוצמה רבה, רק על ארבעה מהם נמצאו תרמילים בודדים. תופעה זו דווחה בעבר על ידי אשכנזי (1995) שסברה כי היא מאפיינת עצי מכלוא. אשכנזי (1995) ציינה גם כי קיימים עצי שיטה סלילנית שניטעו במערב הנגב שאינם מייצרים תרמילים, אולם לא ברורה הסיבה לכך. סמני ה-DNA שפותחו במחקר זה יאפשרו לבחון אם מדובר בעצי מכלוא במקומות נוספים שמעלים סימני שאלה באשר לזהות הגנטית של עצי שיטה. עקרות היא תכונה המעודדת בידוד ושימור של המין (Kim and Zhang, 2018). בידוד רבייה (reproductive isolation), שמשמעותו הפרדת שתי אוכלוסיות כך שאינן יכולות להתפתח למכלוא, מתרחש עקב חסם טרום-זיגוטי (לא מתבצעת הפריה בין המינים) או פוסט-זיגוטי (הצאצאים שנוצרים אינם מייצרים צאצאים). מכלואי השיטים שבמרכז מחקר זה מקיימים בידוד רבייה מסוג פוסט-זיגוטי (Widmer et al., 2009). עקרות במכלואים טריפלואידים (בעלי שלוש מערכות כרומוזומים במקום שתיים) ידועה זה מכבר, ודווחה בעבר במינים שונים כמו במכלואים של אגס שנמצאו טריפלואידים (Phillips et al., 2016), אבטיח חסר זרעים, או צמח הזעפרן (*Crocus sativus*) (Nemati et al., 2019). אנליזה קריוטיפית של המכלואים לא נכללה במחקר זה, ולכן לא ידוע אם מדובר בטריפלואיד, אולם, העקרות שנמצאה בכל המכלואים במחקר הנוכחי מעלה את הסברה כי מדובר בטריפלואיד.

עצי המכלוא מתאפיינים בין היתר בעלווה ירוקה בעוצמה גבוהה (גרונר ושות', 2017). במחקר הנוכחי נמצא כי עוצמת העלווה הייתה גבוהה משל השיטה הסלילנית ונמוכה מזו של שיטה הנגב. יתכן שהתכונה הזו מושפעת מתנאי סביבה, אולם יכול להיות שעוצמת העלווה מתגברת על רקע העקרות שמפנה אנרגיה לצימוח הווגטטיבי. עם זאת, מחקר נוסף נדרש כדי לקבוע אם מדובר בתופעה של און-מכלוא (heterosis).

במרוצת השנים נערכו מספר מחקרים ברחבי העולם שעסקו במכלואים בין מיני עצי שיטה. באוניברסיטת האנוי בווייטנאם נערך מחקר על מיני השיטים האוסטרליות,

בעבודה זו פותחו תשעה סמני DNA שאפשרו לבחון גנטית עצים החשודים כמכלואים בין שיטה סלילנית לשיטה הנגב בנחל שיטה. תוצאות הבדיקה העלו כי העצים החשודים הם אכן מכלואים, וכי עקרות העץ היא הסמן המורפולוגי האמין ביותר לזיהוי מכלואים בשטח. רוב המכלואים הם תוצר האבקה של שיטה הנגב על שיטה סלילנית, אך נמצאו מכלואים שמעידים גם על האבקה הפוכה.

הסמנים השכיחים כיום לזיהוי מכלואים הם סמני DNA המבוססים על שונות בין-מינית ברצף חומצות הגרעין, מסוג SNP (Chen and Sullivan, 2003). עבור מגוון גדול של אורגניזמים המשמשים מודל גנטי קיים רפרטואר עשיר של סמנים גנטיים. לעומת זאת, עבור אורגניזמים רבים אחרים, בהם עצי השיטה שבמרכז המחקר הנוכחי, לא קיים מידע גנטי, ולכן היה צורך לבסס מאגר מידע מתאים. לשם כך, ריצפנו את החלק שמקודד לחלק מהגנים, הטרנסקריפטום של שיטה זו נהוגה במקרים שיש צורך בפישוט מורכבותם של גנומים גדולים, כפי שעשינו בעבר במחקר עם אורנים (Fox et al., 2018), וגם כדי להוריד את עלויות הריצוף.

עצי המכלוא בנחל שיטה

תוצאות עשרת סמני ה-DNA שפותחו במחקר הנוכחי מצביעות על כך שעצי השיטה שהוגדרו כחשודים, היו אכן מכלואים (הלוי, 1971א, ב; גרונר ושות', 2017). מאחר שעצי המכלוא היו חסרי תרמילים (פרט לתרמילים בודדים באחדים מהעצים), ניתן להסיק כי היעדר תרמילים הוא סמן מורפולוגי אמין לזיהוי מכלואים בין שיטה סלילנית לשיטה הנגב.

למעט תשעה סמני ה-DNA הגרעיניים שהתפצלו במכלואים, נמצא סמן מהגנום הכלורופלסטי שמעיד על הורשת הכלורופלסט. הכלורופלסט במשפחת הקטניתיים, שעצי השיטה משתייכים לה, מורש על ידי עץ האם (Imai et al., 2021), ולכן סמן זה מאפשר לנו לקבוע את מינו של עץ האם שעץ המכלוא נוצר ממנו. ממצאי העבודה הנוכחית מעידים כי מרבית המכלואים נוצרו מעצי אם של שיטה סלילנית (19 פרטים), בעוד שמיעוטם נוצרו מעצי אם של שיטה הנגב (7 פרטים). מניטור מועדי הפריחה של שני המינים נראה כי הדומיננטיות של האבקה על ידי שיטה הנגב היא תוצאה של מועד פריחה מוקדם ביחס לשיטה הסלילנית, בהתאם למה שפורסם בעבר (אשכנזי, 1995). הסבר נוסף לדומיננטיות של השיטה הסלילנית כעץ אם נעוץ בהבדל המספרי המהותי של פרטי המינים בנחל שיטה. על פי ממצאי "תוכנית ניטור שיטים אחידה בערבה", שפרסם מרכז מדע ים המלח והערבה בשנת 2017 (גרונר ושות', 2017),

השלכות אקולוגיות של הימצאות מכלואי שיטים בנחל שיטה

הכלאה טבעית קורית תדיר בצמחים, ממלאת תפקיד חשוב באבולוציה כמקור לשילובי גנים חדשים, ומהווה מנגנון של התמיינות מחדשת (Sun and Lo, 2011). כאשר קיים בידוד רבייתי בין שני מינים, לא מתאפשר תהליך התמיינות של מין חדש. עם זאת, במקרה שלפנינו קיימת מידה מועטה של רבייה בעצי מכלוא מסוימים. אם תנאי האקלים יחמירו, ייתכן שהתרמילים הבודדים שכן נוצרים בעצי המכלוא יצליחו לנבט ולהתבסס בשטח. מאחר שהמינים השונים מתאפיינים בטמפרטורת נביטה שונה, ייתכן שלזרעים הנוצרים מההפריה הבין-מינית יש יתרון בנביטה. השערה זו צריכה להיבדק במחקר המשך.

קשה לצפות את הבאות, אולם העובדה שכמות המשקעים השנתית שנמדדה בתחנת המדידה בערבה הדרומית בין השנים 1993–2009 מראה ירידה של כ-50% בהשוואה לשנים 1951–1993 (Ginat et al., 2011), מעלה את החשש שקיומם של עצי השיטה בערבה נתון בסכנה. כיום השטח יבש יותר בתקופת התבססות העצים, ועל כן נראים מעט עצים צעירים בשטח. אם מגמה זו תימשך, יש להניח שמספר עצי השיטה יקטן עוד יותר. בעקבות זאת ייכגעו גם בעלי החיים הניזונים מהם, כגון צבאים וראמים, ואי לכך, תיפגע גם ההפצה של זרעי השיטה. ניתן להעריך שכלל שההפרעות האנתרופוגניות העקיפות יימשכו, כלל מיני השיטה שגדלים בנחל שיטה יהיו בסכנה קיומית (Armoza-Zvuloni et al., 2021). ככל הנראה, שגשוגם של עצי מכלוא בנחל מעיד על יכולת התמודדות טובה שלהם עם תנאי הסביבה, וייתכן שעתידי קיומה של אוכלוסיית השיטים נעוץ בשילובם של מכלואים אלה.

תודות

במחקר זה היו מעורבים המרכז לחקר השיטים, קרן קימת לישראל, LTER ישראל ומו"פ מדבר וים המלח. המחקר מומן על ידי קק"ל, והוגש כעבודת תזה לתואר שני לאוניברסיטה העברית בירושלים על ידי הסטודנט תום שיפרין בהנחיה משותפת של ד"ר רקפת דוד-שורץ ממכון וולקני וד"ר ליאור אשד-וויליאמס מהאוניברסיטה העברית בירושלים. ד"ר אורי פרגמן-ספיר סייע במידע טקסונומי.

Acacia mangium ו-*Acacia auriculiformis*, שנוצרו מהן פרטים שנמצאו טריפלואידים ועקרים (Quynh Nghiem et al., 2018). בווייטנאם מתקיימת תעשייה מתפתחת של ייצור סיבי עץ קצרים, ולכן יש חשיבות וכדאיות בפיתוח קווים עקרים שנמצאו בעלי צימוח מהיר. העקרות שנמצאה אינה מוחלטת. מתוך 13 קווים שפותחו, התקבלו 5 קווים בעלי אחוזי עקרות גבוהים דיים. התרמילים שנוצרים מניבים כמות זרעים נמוכה יחסית, והם בעלי אחוזי נביטה נמוכים בהשוואה לעצי האם. כמו כן, באוניברסיטת הוואי נערך מחקר על מכלואים טריפלואידים בשני מינים של צחר (*Leucaena leucocephala* ו-*Leucaena diversifolia*) ממשפחת המימוזיים, ומהם פותחו 12 מכלואים טריפלואידים (Brewbaker, 2013). מרבית המחקרים שנעשים על מכלואי עצי שיטה נעשים מתוך אינטרסים כלכליים, כמו למשל המחקר שנעשה בווייטנאם ומצביע על העובדה שבכ-50% מייצור העץ לתעשייה שמקורו במטעים של משקי בית כפריים, ניתן להביא למקסימום גם את התוצרת וגם את ההכנסה (Tham et al., 2020). לאור ההבנה כי מכלואי עצי השיטה מהווים מקור כלכלי משמעותי בווייטנאם, נעשים ניסיונות מתמידים לפיתוח קווים חדשים של מכלואי שיטים לטובת תעשיית העץ המקומית (Sein and Mitlöchner, 2020; Sunarti and Nirsatmanto, 2020; 2011). מאידך גיסא, יש כוונה לפתח זני עילית בעלי עמידות מוגברת למחלות, שיהווו אבן בסיס לייצור בר-קיימא ויסייעו להתפתחותה של כלכלת וייטנאם (Son et al., 2018).

צאצאים של מכלואי השיטים

רוב עצי המכלוא נמצאו עקרים, אך בארבעה מהם נמצאו תרמילים בודדים. העובדה שרמת ההטרוזיגוטיות בצאצאי עץ H203 נמצאה גבוהה מאשר בצאצאי עץ H972 מעידה שאת העץ הראשון האביקו עצי מכלוא, ואילו את השני האביקו כנראה עצי שיטה סלילנית. הסבר אפשרי לעובדה זו נעוץ במיקום הגאוגרפי של העצים. בעוד שעץ H203 גדל כחלק מקבוצת עצי מכלוא, עץ H972 גדל מערבית להם, במרחק גדול יחסית מקבוצה זו, בין עצי שיטה סלילנית וסמוך לעץ מכלוא נוסף אחד. כל ארבעת העצים הללו נוצרו מעצי אם של שיטה סלילנית שהואבכו על ידי שיטת הנגב. ייתכן שרק בכיוון הפריה זה נוצרים זרעים, אם כי באופן מוגבל ביותר, אולם המספר המצומצם של צאצאי מכלואים בכלל וחוסר צאצאי מכלואים מהכיוון ההפוך מקשה על הסקת מסקנה זו באופן חד-משמעי.

- Li B and Dewey CN (2011) RSEM: accurate transcript quantification from RNA-Seq data with or without a reference genome. *BMC Bioinformatics*, 12, 323.
- Lövenstein HM, Berliner PR, and van Keulen H. 1991. Runoff agroforestry in arid lands. *Forest Ecology and Management*, 45(1), 59–70.
- ILTER Israel. n.d. Wadi Shita. Israeli Long-Term Ecological Research Network. <https://lter-israel.org.il/shita-wadi/>
- Michaels SD and Amasino RM. 1998. A robust method for detecting single-nucleotide changes as polymorphic markers by PCR. *Plant Journal*, 14(3), 381–385.
- Munzbergova Z and Ward D. 2002. *Acacia* trees as keystone species in Negev desert ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, 13(2), 227–236.
- Nemati Z, Harpke D, Gemicioglu A, Kerndorff H, and Blattner FR. 2019. Saffron (*Crocus sativus*) is an autotriploid that evolved in Attica (Greece) from wild *Crocus cartwrightianus*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 136, 14–20.
- Or K and Ward D. 2003. Three-way interactions between *Acacia*, large mammalian herbivores and bruchid beetles – a review. *African Journal of Ecology*, 41(3), 257–265.
- Phillips WD, Ranney TG, Touchell DH, and Eaker TA. 2016. Fertility and reproductive pathways of triploid flowering pears (*Pyrus* sp.). *HortScience*, 51(8), 968–971.
- Quynh Nghiem CA, Griffin RL, Harbard J, Harwood CE, Le S, Duc Nguyen K, et al. 2018. Reduced fertility in triploids of *Acacia auriculiformis* and its hybrid with *A. mangium*. *Euphytica*, 214(4), 77.
- Sein CC and Mitlöchner R. 2011. *Acacia hybrid: Ecology and silviculture in Vietnam*. CIFOR.
- Son DH, Harwood CE, Kien ND, Griffin AR, Thinh HH, and Son L. 2018. Evaluating approaches for developing elite *Acacia* hybrid clones in Vietnam: Towards an updated strategy. *Journal of Tropical Forest Science*, 30(5), 476–487.
- Stavi I, Zinnes TA, Joseph A, Solowey E, and Groner E. 2015. The role of large herbivores in recruitment of *Acacia* trees via endozoochory in the Arava Valley, Israel. *European Journal of Wildlife Research*, 61(5), 775–781.
- Sun M and Lo EYY. 2011. Genomic markers reveal introgressive hybridization in the Indo-West Pacific mangroves: A case study. *PLoS ONE*, 6(5), e19671.
- Sunarti S and Nirsatmanto A. 2020. The potential of introducing new variety of *Acacia* hybrids in agroforestry systems. In: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, vol 1. IOP Publishing, p 012016.
- Tham LT, Darr D, and Pretzsh J. 2020. Contribution of small-scale *Acacia* hybrid timber production and commercialization for livelihood development in central Vietnam. *Forests*, 11(12), 1335.
- Tybirik K. 1993. Pollination, breeding system and seed abortion in some African acacias. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 112(2), 107–137.
- Untergasser A, Cutcutache I, Koressaar T, Ye J, Faircloth BC, Remm M, et al. 2012. Primer3 – new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research*, 40(15), e115.
- Widmer A, Lexer C, and Cozzolino S. 2009. Evolution of reproductive isolation in plants. *Heredity*, 102(1), 31–38.
- Winters G, Otieno D, Cohen S, Bogner C, Ragowloski G, Paudel I, et al. 2018. Tree growth and water-use in hyper-arid *Acacia* occurs during the hottest and driest season. *Oecologia*, 188(3), 695–705.
- Wong MML, Cannon CH, and Wickneswari R. 2012. Development of high-throughput SNP-based genotyping in *Acacia auriculiformis* x *A. mangium* hybrids using short-read transcriptome data. *BMC Genomics*, 13(1), 726.
- אבן-ארי מ, שונ ל ותדמור נ. 1980. הנגב, מלחמת קיום במדבר. ירושלים: מוסד ביאליק.
- ארמוזה-זבולוני ר, עבאדי א, שלומי י, גינת ה, שגב נ ושם טוב ר. 2023. הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור שיטים באגני משנה של נחל שיטה. יער, 24, 22–32.
- אשכנזי ש. 1995. עצי השיטה בנגב ובערבה, סקר בעקבות תופעות ההתייבשות והתמותה. הקרן הקיימת לישראל, ירושלים.
- בהרב ד. 1987. בחירת בית הגידול באזור מדברי וניצולו על ידי צבי הנגב. בתוך: שלמון ב (עורך). הצבאים בישראל, לקט מאמרים. החברה להגנת הטבע, מרכז מידע על יונקים. עמ' 82–96.
- גרונר א, רפפורט ע, שגב נ, רגולסקי ג, נלביצקי ר, אלכסנדר ק ושות'. 2017. תכנית ניטור שיטים אחידה בערבה. מחקרי הנגב, ים המלח ובערבה, 9(1), 14–1.
- הלוי ג. 1971א'. אוטואקולוגיה של שלושה מיני שיטה בנגב ובסיני (עבודה לקבלת תואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- הלוי ג. 1971ב'. אוטואקולוגיה של שלושה מיני שיטה בנגב ובסיני – אלמנט סודני באזור מדברי. טבע וארץ, ט"ז 3, 129–132.
- וינטרס ג, אוני ד, שפר א ואחרים. 2019. גדילת הגזע אצל עצי שיטה בערבה מתרחשת בתקופת הקיץ החם והיבש – הכיכד? אקולוגיה וסביבה, 10(1), 30–37.
- פלד י. 1988. תמותת עצי השיטה בערבה הדרומית (עבודה לקבלת תואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- פרלברג א, רון מ ורומן א. 2013. סקר שיטים בערבה. דו"ח סופי. הקרן הקיימת לישראל, מרחב דרום, יחידת סקרי טבע ונוף, מכון דש"א.
- שלמון ב. 1981. עולם טרופי גונז בין ענפי השיטה. טבע וארץ, כ"ג 5, 198–205.
- שמידע א ואור י. 1983. הצמחייה הסודנית בישראל. רת"ם, 8, 1–149.
- שמידע א, גולן ע ורון מ. 2015. עד היכן מצפינה השיטה הסלילנית? כלנית, 2. <https://www.kalanit.org.il/acacia-raddiana>
- Armoza-Zvuloni R, Shlomi Y, Shem-Tov R, Stavi I, and Abadi I. 2021. Drought and anthropogenic effects on *Acacia* populations: A case study from the hyper-arid southern Israel. *Soil Systems*, 5(2), 23.
- Brewbaker JL. 2013. 'KX4-Hawaii', Seedless Interspecific Hybrid *Leucaena*. *HortScience*, 48(3), 390–391.
- Chen X and Sullivan PF. 2003. Single nucleotide polymorphism genotyping: Biochemistry, protocol, cost and throughput. *The Pharmacogenomics Journal*, 3(2), 77–96.
- 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.
- Ginat H, Shlomi Y, Batarseh S, and Vogel J. 2011. Reduction in precipitation levels in the Arava Valley (southern Israel and Jordan), 1949–2009. *Journal of Dead-Sea and Arava Research*, 3, 1–7.
- 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 Genetic and Genomes*, 17(2), 14.
- Imai R, Kajita Y, Yamamoto T, Takayama K, and Kajita T. 2021. The complete chloroplast genome of a pantropical legume, *Canavalia rosea*. *Mitochondrial DNA Part B*, 6(2), 295–296.
- Kim Y-J and Zhang D. 2018. Molecular control of male fertility for crop hybrid breeding. *Trends in Plant Science*, 23(1), 53–65.
- Kyalangaliwa B, Boatwright JS, Daru BH, Maurin O, and van der Bank M. 2013. Phylogenetic position and revised classification of *Acacia* s.l. (Fabaceae: Mimosoideae) in Africa, including new combinations in *Vachellia* and *Senegalia*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 172(4), 500–523.
- Lahav-Ginott S, Kadmon R, and Gersani M. 2001. Evaluating the viability of *Acacia* populations in the Negev Desert: A remote sensing approach. *Biological Conservation*, 98(2), 127–137.



נחל שיטה: שיטת מכלוא עתירת עלווה בקדמת התמונה, ומאחוריה עצי שיטה סלילנית
צילום: בני שלמון



ניתוח משטר הגשם בצפון הנגב

שמואל ארבל^{1*} | משה גטקר¹ | יצחק משה² | מוטי שריקי³

- 1 התחנה לחקר הסחף, לשעבר
- 2 קק"ל מרחב דרום, לשעבר
- 3 קק"ל מרחב דרום
- * arbel.shmuel@gmail.com

תקציר

שהתקבל עשוי לסייע בתכנון מתקני שימור קרקע ואיסוף מי נגר ובהבנת תהליכי התפתחות ושרידות של הצומח ביער. נמצא כי בעקבות השנים השחונות נגרמו נזקי התייבשות עצים בשטחי היער. אי לכך ולנוכח תרחישי שינוי האקלים, מוצע להיערך ולהתאים את הפעילות היערנית לאירועי גשם שההסתברות להופעתם נמוכה, אף על פי שלא נמצאו מגמות שינוי במשטר הגשם.

הבנת משטר הגשם היא מרכיב חשוב בקביעת ממשק שיבטיח את שרידות היערות ואת הצלחת מאמצי השיקום של השטחים הממודברים בצפון הנגב. ניתוח משטר הגשם שערכנו התבסס על נתוני גשם מתחנות לניטור ארוך טווח בצפון הנגב, מרוחמה בצפון ועד שדה בוקר בדרום. הממצאים מלמדים על התנדטיות הקיימת במהלך הגשם השנתי. במהלך תקופת המדידות היו שנים ברוכות בגשם, שכמויות הגשם שנמדדו בהן היו גבוהות בפער קיצוני ביחס לממוצע הרב-שנתי. מספר השנים הרצופות שאינן ברוכות בגשם ואורך הרצף שלהן גדולים מאלה של התקופות ברוכות הגשם. מתברר כי לתופעת השנים השחונות או הברוכות יש תפרוסת מרחבית גדולה, והיא מאפיינת את כל התחנות שנחקרו בצפון הנגב. ניתוח נתוני הגשם עד לשנת 2021 לא הראה מגמת שינוי בתחנות שנבחנו בצפון הנגב במשתנים השונים של משטר הגשם: כמויות הגשם השנתיות, הסופתיות והיומיות, מועדי התחלה וסיום של עונת הגשמים, וכן ההסתברות להופעת אירועי גשם שכמותם גדולה מ-10 מ"מ ומ-30 מ"מ. ניתוח המידע

מילות מפתח

הסתברות לכמויות גשם, נזקי בצורת, שנים ברוכות בגשם, שנים שחונות, תנדטיות בכמויות הגשם

גולדה וסגירת כבישים 40 ו-222 בנובמבר 1994 (גרטי ושות', 1995).

במהלך השנים, כחלק מהמאמץ לשיקום שטחים בתהליכי מדבור ולהרחבת שטחי הנטיעה גם לאזורים היובשניים בסובב באר שבע, פיתחה קק"ל שיטות לאיסוף מי נגר וכן אמצעים לשימור קרקע וניקוז בשטחי היער. השיטות תלויות במשטר הגשם ומושפעות ממנו. כמו כן, בוצעו מחקרים והצטבר מידע על אודות השפעת מאפייני סופות הגשם על התפתחות הנגר, על שיעור הרטבת הקרקע ועל הפעילות הפיזיולוגית של עצי היער (גטקר וארבל, 2006; Raz-Yaseef et al., 2009, 2012).

מאגר נתוני הגשם

התנדויות הגבוהה במשטר הגשם לאורך זמן מחייבת ניתוח נתוני גשם שנאספו מתחנות ניטור ארוך טווח. ככל שסדרת נתוני הגשם ארוכה יותר, קיים סיכוי גבוה יותר להופעת אירועי קיצון שתדירותם נמוכה. אירועי קיצון אלה יכולים להשפיע על היער ועל המערכת האקולוגית.

התחנות שנבחרו הן תחנות למדידת גשם שנערכה בהן סדרת תצפיות ארוכה ורציפה. נתוני הגשם נאספו ממאגר המידע של השירות המטאורולוגי הישראלי (2023), הכולל גם נתוני גשם שנאספו בתקופת המנדט בטרם נטיעת היערות, ממדידות בתחנות שקק"ל הקימה בשטחי היער, ומאתרי מחקר שהוקמו על ידי קק"ל והתחנה לחקר הסחף של משרד החקלאות. הנתונים נאספו מתחנות בצפון הנגב המייצגות את מפל הגשם האופייני, מאזור רוחמה בצפון ועד שדה בוקר בדרום, ומאזור בארי במערב ועד ליער יתיר במזרח (טבלה 1).

תוצאות ודין

ניתוח נתוני הגשם נעשה לפי מדדים מקובלים תוך מאמץ לבחון את מאפייני הגשם באמצעות מדדים הנשענים על מסקנות מחקרי יער ועל ניסיון שהצטבר במהלך עשרות השנים האחרונות.

מהלך רב-שנתי של כמות הגשם השנתית

בכל תחנת מדידה נבחן המהלך הרב-שנתי של הגשם (השינויים בכמויות הגשם השנתיות לאורך הזמן). חושבה כמות הגשם הרב-שנתית הממוצעת, ונעשה ניתוח של נתוני

המאמר דן במאמץ להבין את משטר הגשם בצפון הנגב בהתבסס על ניתוח נתוני הגשם שנאספו בתחנות המדידה מאז תחילת המדידות. ניתוח נתוני הגשם הוא מרכיב בעבודת מחקר תלת-שנתית ומקיפה שהוזמנה על ידי קק"ל, ומטרתה ניתוח וסיכום של כ-30 שנות תצפיות ומחקר הידרולוגי שנערכו בצפון הנגב באתרי הניטור ארוך הטווח וביערות קק"ל.

בשנה הראשונה עסק המחקר בבניית מסד הנתונים המקיף וארוך הטווח של נתוני הגשם והנגר בתחנות המחקר הפרוסות בשטחי היער בנגב, ובמעקב אחר אירועי הזרימה (30 שנות מעקב אחר גשם ונגר ב-18 לימים; 10 עד 20 שנות ניטור של יחסי גשם-נגר באגנים: בכרה, כתף בתרים, דודאים עשן וסיירת שקד; עשרות שנים של ניטור ספיקות ונפחי גשם בנחלים: הגדי, קוטמית, שמריה, אופקים ועלקת; ניטור מאגרי מים ומאות מדידות של אירועי גשם ונגר חריגים בכל רחבי הנגב, הערבה ומדבר יהודה). אנו מצויים כעת בשנת המחקר השנייה ועוסקים, בין השאר, בניתוח משטר הגשם בצפון הנגב.

משטר הגשם הוא גורם מגביל בהתפתחות ובשרידות של היערות בישראל. ניתוח נתוני הגשם בטווח של עשרות השנים בעבר עשוי לסייע בחיזוי משטר הגשם בעתיד. יש לכך חשיבות יתרה עבור יערות במרחב דרום, היות שהם נטועים ברובם ברצועה שבין האזור הים תיכוני לאזור המדברי, באזור הנחשב כיובשני בהשוואה למרבית שטחי היער בשאר אזורי הארץ. להבנת משטר הגשם ומאפייני התנדודות העיתיות והמרחביות ואירועי הקיצון עשויה להיות תרומה בתכנון ממשק יערי שיבטיח את שרידות היערות באזור היובשני ואת הצלחת פעולות השיקום בשטחים הממודברים. ניתוח נתוני הגשם והבנת משטר הגשם המתייחס לעשרות השנים בעבר, עשויים לסייע בחיזוי משטר הגשם בעתיד ולתרום לתכנון מיטבי של הפעילות היערנית בייחוד לנוכח שינוי האקלים הצפוי.

השפעת משטר הגשם על היער

בעשורים האחרונים אירעו תקופות בצורת שפגעו בשטחי יער במרחב דרום, ובחלק מהמקרים השפעתן התבטאה בהתייבשות עצים בוגרים ביחידות שטח נרחבות יחסית. בצד שנות הבצורת ירדו בתקופה זו גם גשמים עזים מאוד, שגרמו להצפות ולנזקי סחיפה במגוון שימושי השטח באזור, למשל הצפת חניון בית הספר התיכון עומר וסגירת כביש 60 באוקטובר 2002 (ארבל ושות', 2006) והצפת פארק

שם התחנה	שנת תחילת המדידות	מספר שנות מדידה	כמות גשם שנתית (מוצעת מ"מ)
רוחמה	1934/1935	85	354
בארי	1944/1945	76	351
להב	1952/1953	70	296
יתיר	1966/1967	52	271
אורים	1940/1941	80	210
באר שבע	1921/1922	101	193
רביבים	1935/1934	86	102
שדה בוקר	1951/1952	71	88

טבלה 1
דוגמאות לתחנות מדידת הגשם שנתונין נבחנו

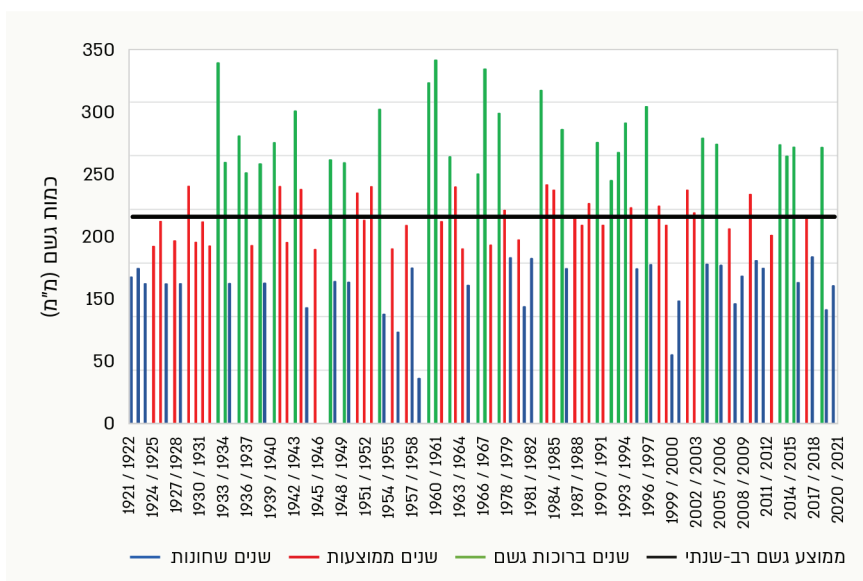
7-7 שנים ממוצעות, שמהן שנה אחת בלבד הייתה מעל לערך של ממוצע הגשם הרב-שנתי. מבחינת שרידות הצומח יש משמעות לתקופות של מספר שנים רצופות שלא היו בהן שנים ברוכות בגשם. הנתונים מראים כי מספר התקופות שיש בהן רצף שנים עם כמויות גשם מתחת לממוצע הרב-שנתי, גדול ממספר התקופות שיש בהן רצף שנים עם כמויות גשם מעל לממוצע הרב-שנתי.

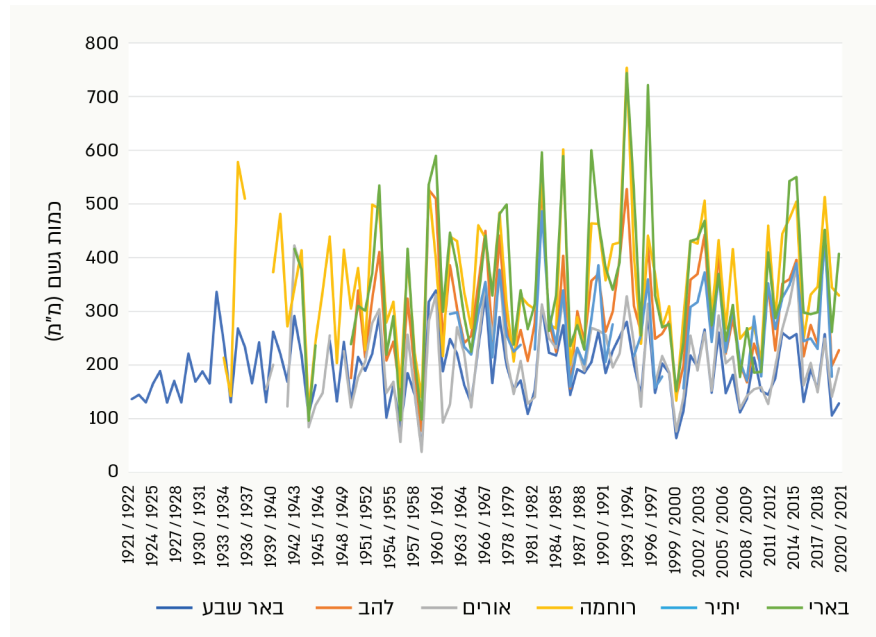
באיור 2 מוצגת כמות הגשם השנתית בשש תחנות מדידת גשם בצפון הנגב. מהנתונים עולה כי פחיתה בכמות הגשם השנתית בהשוואה לממוצע הרב-שנתי היא תופעה בעלת תכרסות מרחבית רחבה. לדוגמה, בשנת 1962/1963 כמות הגשם השנתית בכל שש התחנות הייתה בשיעור של 20-40% מהכמות הרב-שנתית הממוצעת. בחינת התקופות שהתאפיינו בכמויות גשם מעל לממוצע הרב-

הגשם הכולל חלוקה שלהם לקבוצות שנים ממוצעות (כמות הגשם בתחום מחצית סטיית התקן מעל או מתחת לממוצע הרב-שנתי), ברוכות (כמות הגשם גבוהה ממחצית סטיית התקן שמעל לממוצע הרב-שנתי) ושחונות (כמות הגשם נמוכה ממחצית סטיית התקן שמתחת לממוצע הרב-שנתי) באיור 1 מוצג מהלך הגשם השנתי בתחנת באר שבע. קיימים הבדלים משמעותיים בכמויות הגשם השנתיות, הנתונות בין 42 מ"מ בשנת 1962/63 ועד 339 מ"מ בשנת 1964/65. מניתוח הנתונים עולה כי מספר השנים הברוכות בגשם (29), נמוך במקצת ממספר השנים השחונות (33) (איור 1). כמו כן, ב-60% מהשנים הממוצעות כמויות הגשם היו נמוכות מהממוצע הרב-שנתי של הגשם.

ניתן להבחין בתקופות שיש בהן רצף של שנים שאינן ברוכות בגשם, לדוגמה, מהשנה ההידרולוגית 1921/22 עד 1932/33. בתקופה זו שארכה 12 שנים, היו 5 שנים שחונות

איור 1
מהלך רב-שנתי של כמות הגשם השנתית בתחנת באר שבע





איור 2

מהלך הגשם הרב-שנתי בשש תחנות מדידת הגשם בצפון הנגב

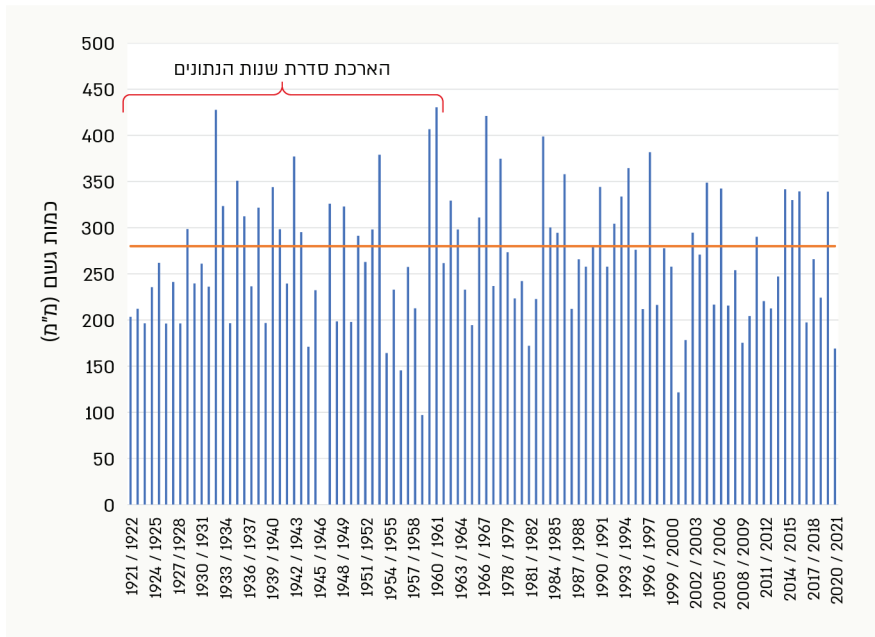
נפגעו עצים ביער יתיר, התייבשות העצים ביערות להב, דודאים וכרמים נמשכה, וכן נרשמו התייבשויות מקומיות של מיני עצים רגישים, כגון אורן הצנובר ביערות כרמון ואיתן. ראוי לציין כי נוסף על מין העץ וכמות הגשם, קיימת חשיבות גם לגורמים נוספים בהבטחת שרידות מיני העצים, כמו מאפיינים של בית הגידול. למשל, אחוז השרידות של עצי אורן ירושלים שניטעו בבתי גידול סלעיים ביערות יתיר, להב ודודאים היה גבוה בצורה משמעותית בהשוואה לעצי אורן ירושלים שניטעו בבתי גידול קרקעיים (Preisler et al., 2019).

תחנת הגשם בבאר שבע היא הוותיקה בצפון הנגב, וכמויות הגשם נמדדות בה כבר למעלה ממאה שנים, החל מחורף 1921/1922. מתברר כי קיימת התאמה ($R^2=0.66$) במגמת מהלך הגשם הרב-שנתי בין תחנת גשם באר שבע לתחנת גשם יתיר. התאמה זו מאפשרת לשער את כמויות הגשם שנמדדו בשטח יער יתיר לפני שהחלו בו המדידות, החל משנת 1921/1922, עוד בטרם נטיעתו. "הארכת" סדרת השנים בגישה המתוארת עשויה ללמד על התנודות בכמות הגשם השנתית, כולל הופעת תקופות קיצון, שלכאורה התרחשו בעבר, ועל האפשרות של חזרת שנים שחונות או ברוכות בגשם בעתיד (איור 3).

מ"הארכת" סדרת שנות המדידה ביתיר עולה כי תחילת הנטיעות ביער יתיר (1964) התרחשה לאחר שש שנים שכמות הגשם השנתית בהן הייתה נמוכה מהממוצע הרב-שנתי, ולאחר שנת 1962/3 שהייתה השנה השחונה ביותר מאז ראשית המדידות. אם כן, יער יתיר עדיין לא חווה מאז הקמתו סדרת שנים כה ארוכה ודלה בגשם, כפי שהתרחשה

שנתי, מלמדת כי גם תופעה זו היא בעלת תכונות מרחבית רחבה. לדוגמה, בשנת 1982/1983 כמות הגשם השנתית הייתה בשיעור 1.5 ויותר מהממוצע הרב-שנתי בכל תחנות המדידה בצפון הנגב.

במהלך השנים בוצעו מגוון סקרים מהקרקע ומהאוויר לאיתור ולבחינה של מאפייני הנזקים ביערות בעקבות התקופות השחונות. לדוגמה, סקרי יער שערכה מחלקת היער במרחב דרום לאיתור ולתיעוד של הנזקים (משה וספרינצ'ין, 2002), לאחר הרצף 1995/96–1999/00 (השנה השחונה ביותר בטווח שנים זה הייתה 1998/99) ולאחר 2005/06–2010/11 (השנים השחונות בתקופה זו היו 2007/08, 2008/09). מתברר כי נזקי ההתייבשות של היערות לאחר תקופת 1995/96–1999/00 היו בפריסה גאוגרפית רחבה, ולמעשה נפגעו היערות כרמון, פלוגות וקוממיות בצפון האזור, וגילת, דודאים, להב וכרמים בדרומו (הפגיעה ביער יתיר הייתה נמוכה יחסית). נפגעו סוגי עצים שהתברר כי אינם שורדים בתנאי הבצורת – חלקות עצי ברוש מצוי (*Cupressus sempervirens*) שניטעו בעמקים, עצי קליטריס מיובל (*Callitris verrucosa*) שניטעו ברצועות ארוכות לאורך נחלים, עצי קזוארינה מכחילה (*Casuarina glauca*), מינים שונים של עצי אורן (אורן הצנובר [*Pinus pinea*], אורן ירושלים [*P. halepensis*] ואורן קפריסאי [*P. brutia*]) ברמות פגיעה שונות, וכן מינים שונים של איקליפטוס (בעיקר מהמינים אקליפטוס המקור [*Eucalyptus camaldulensis*] איקליפטוס מערבי [*E. occidentalis*] ואיקליפטוס מסמרי [*E. gomphocephala*]), שניטעו בגבעות כורכר בצפון הנגב ובמערבו, ועברו מספר מחזורי כריתה. בעקבות הרצף השחון 2005/06–2010/11



איור 3

מהלך רב-שנתי של כמות הגשם השנתית בתחנת יתיר כולל "הארכת" סדרת הנתונים לאחר משנת 1965/66 עד לשנת 1921/22

שירדו בהן מעל 30 מ"מ גשם. הופעה של סוכות גשם עזות במהלך שנים מעוטות גשם עשויה למתן את ההשפעה השלילית שיש לכמות גשם שנתית נמוכה על ההתפתחות והשרידות של העצים (Dorman et al., 2015). בהמשך לכך בדקנו ומצאנו כי בשש השנים השחונות ביותר שנצפו עד כה (1952/53, 1959/60, 1962/63, 1983/84, 1998/99, 2008/09) אכן היו סוכות גשם שירדו בהן גם מעל 30 מ"מ גשם. מכאן ניתן ללמוד כי גם בשנים שחונות קיים סיכוי לשרידות היער.

ניתוח ההסתברות לכמות גשם יומית וסוכתית עשוי לסייע בהערכת ההיתכנות להתפתחות אירועי נגר, והסיכוי לתוספת לחות קרקע בהשפעת הפעולות לאיסוף מי נגר (לימנים, שיחים, טרסות וכד'). ההסתברות לכמות גשם יומית וסוכתית עשויה ללמד על נפחי נגר וספיקות שיא של זרימת הנגר, גורם חשוב בתכנון מתקני איסוף הנגר להבטחת קליטת נגר מיטבית, וכן בתכנון מיטבי למתקני שימור הקרקע והניקוז להבטחת ויסות שיטפונות ולמניעת סחף קרקע.

מגמות ארוכות טווח במשטר הגשם

השירות המטאורולוגי הישראלי בחן את מגמת השינויים במשטר הגשם בישראל בעשרות השנים האחרונות. המחקרים כללו התייחסות לכמויות הגשם השנתיות, הסוכתיות והיומיות, למספר ימי הגשם בשנה ולהבדלים תקופתיים ובין האזורים בארץ. במדדים שנבדקו לא נמצאו מגמות מובהקות. אחת הסיבות לכך היא התנדבותיות

טרם נטענתו. מסתבר כי בשנות ה-20 של המאה הקודמת היה רצף של שמונה שנים שבהן כמות הגשם השנתית הייתה נמוכה מהמוצע הרב-שנתי. יש להביא בחשבון כי תקופות שחונות כגון אלה עלולות להתרחש בעתיד.

ההסתברות לכמות גשם שנתית, סוכתית, יומית

ניתוח ההסתברות לכמות גשם שנתית, סוכתית (כמות גשם מעל 2 מ"מ ששירדת בפרק זמן מסוים, שבמהלכו משך ההפוגה המרבי בין פרקי הגשם אינו עולה על 24 שעות) ויומית (כמות הגשם ביממה מ-08:00 עד-08:00 למחרת) (טבלה 2) עשוי לסייע בהבנת ההשפעה של כמות הגשם על שרידות עצי היער. ממצאי מחקרים שבוצעו בתחנת המחקר של מכון ויצמן ביער יתיר (יער מחטני, שעיקר הנטיעות בו הן של אורן ירושלים) מראים כי אירועי גשם שכמותם 30 מ"מ ומעלה מביטיחים חידור של מי גשם לקרקע ברמה ובעומק המאפשרים תהליכי דיות בעצים. תהליכים אלה מאפשרים קיבוע פחמן, ולמעשה מביטיחים את התפתחות היער. הרטבה בהשפעת אירועי הגשם הללו עשויה אף לאפשר שאריות של לחות קרקע ביער במשך התקופה היבשה עד לעונת הגשמים הבאה (Raz-Yaseef et al., 2009, 2012).

מחקר שבחן את עוביין של טבעות עצים חיים ביער להב וביער דביר (יערות מחטניים שהמין העיקרי הנתוע בהם הוא אורן ירושלים), מלמד על ההשפעה החיובית שיש לכמות הגשם השנתית על עובי הטבעות השנתיות בגזע העץ ומכאן על צימוח העצים. גורם משני המשפיע באופן חיובי על התפתחות הטבעות בעצים היה הופעת סוכות

כמות גשם שנתית בהסתברויות שונות (מ"מ)								הסתברות (%)
שדה בוקר	רביבים	באר שבע	אורים	יתיר	להב	בארי	רוחמה	
216.9	218.6	358.3	437.8	518.8	601.0	779.9	678.9	1%
195.3	202.3	337.4	406.8	477.9	554.5	712.3	637.2	2%
166.5	178.1	304.2	359.7	422.4	489.6	619.3	572.0	5%
143.7	159.1	278.1	322.8	378.2	437.8	545.2	519.5	10%
119.9	136.3	245.6	278.2	332.3	379.6	464.6	456.5	20%
92.9	109.5	205.6	227.8	280.9	311.3	370.2	379.0	40%
82.6	98.4	188.5	203.4	258.4	284.9	333.9	347.0	50%
64.1	77.4	155.6	155.0	225.0	234.7	267.0	283.6	70%
34.1	39.4	91.5	85.6	160.4	147.6	152.4	164.1	95%
20.4	19.1	56.0	44.4	132.2	104.6	97.2	99.4	99%
כמות גשם סופתית בהסתברויות שונות (מ"מ)								
94.6	89.1	134.9	163.0	183.1	198.5	275.6	238.8	1%
79.2	76.6	118.9	143.3	159.6	172.1	237.3	206.6	2%
60.7	60.7	98.4	118.4	129.6	138.8	188.6	165.8	5%
48.2	49.7	83.4	99.6	108.8	116.1	154.6	137.4	10%
36.6	38.9	68.2	80.3	88.4	93.7	121.4	109.8	20%
25.6	28.5	52.5	59.9	69.7	72.2	89.2	83.1	40%
22.0	24.8	46.7	52.4	61.6	64.7	77.8	73.5	50%
16.4	19.0	37.2	39.5	46.2	52.9	59.6	58.6	70%
9.4	10.8	23.2	20.2	33.3	37.0	31.8	37.2	95%
7.1	8.4	17.6	12.4	29.9	31.5	26.2	31.2	99%
כמות גשם יומית בהסתברויות שונות (מ"מ)								
73.4	89.1	68.3	93.3	89.5	95.9	275.6	112.2	1%
60.0	76.6	61.8	81.6	80.6	85.9	237.3	99.3	2%
44.7	60.7	53.3	66.4	69.4	73.0	188.6	82.8	5%
34.8	49.7	46.6	55.7	60.6	63.2	154.6	70.9	10%
26.0	38.9	39.6	45.0	52.0	53.1	121.4	58.6	20%
18.3	28.5	31.9	34.0	42.0	42.2	89.2	46.2	40%
15.9	24.8	29.0	30.3	37.6	38.3	77.8	41.6	50%
12.2	19.0	23.7	23.9	31.0	31.3	59.6	34.1	70%
8.2	10.8	15.4	14.9	20.3	20.7	31.8	23.1	95%
7.1	8.4	11.7	11.6	16.0	16.3	26.2	18.7	99%

טבלה 2

הסתברויות של כמויות הגשם השנתיות, הסופתיות והיומיות בשמונה תחנות בצפון הנגב

אומנם לא נתגלו במחקר הנוכחי שינויים במאפייני הגשם עד לשנת 2021/22, אך מאחר שהתרחישים לעתיד מנבאים שינויים לקראת אמצע וסוף המאה הנוכחית, מומלץ להיערך ולהתאים את הפעילות היערנית במגוון ההיבטים לאירועי גשם שההסתברות להופעתם נמוכה (אירועי גשם חריגים). את מגוון המרכיבים במתקני שימור הקרקע, קצירי הנגר והדרכים, מומלץ לתכנן בהתאם לאירועי הגשם היומיים והסוכפתיים הקיצוניים, אירועים שאחראים לספיקות זרימה גבוהות ולנפחי נגר גבוהים. סיבה נוספת להמלצה לתכנון המתקנים לאירועי גשם קיצוניים היא העובדה שהם יכולים להתרחש בכל מרחב צפון הנגב. משמעות התאמת התכנון לאירועי גשם קיצוניים היא הגדלת רוחב המגלשים וממדי "דרכי המים" (תעלות הטיה מדרוניות), הגדלת נפחי האיגום במתקני קציר הנגר, הגדלת קוטר צינורות הניקוז בדרכי היער והגדלת חתך המעברים האיריים בדרכי היער. מאחר שהפעילות היערנית מתמקדת באגנים קטנים ובאורכי מדרון קצרים, שהם שטחים המאופיינים בספיקות זרימה ובנפחי איגום קטנים יחסית, הרי שהתאמת התכנון והביצוע לאירועי הגשם החריגים אינה כרוכה בהכרח בהשקעות גבוהות, וממילא תבטיח את קיימות הסוגים השונים של המתקנים. התחזיות להקטנת כמויות הגשם השנתיות מעלות את חשיבות איסוף מי הנגר והגדלת חידור המים לקרקע במטרה לאפשר את שרידות הצומח בעונות היבשות. נוסף על כך, מומלץ להבטיח נטיעה של סוגים ומינים שונים של עצים העמידים לתנאי מיעוט גשם ולסוג בית הגידול. בעשורים האחרונים הצטברו ניסיון בנושא במרחב דרום וכן ידע מחקרי הנוגע לשרידות ולהתאמה של סוגי העצים, רחבי עלים ומחטניים, לשנים השחונות במגוון בתי הגידול, כמו גם ההבדלים בעמידות ליובש של מיני אורן שונים. מחקר ארוך טווח ביער יתיר ותורת ניהול היער

השנתית החזקה המאפיינת את משטר הגשם בישראל (יוסף ושות', 2019; חלפון ושות', 2021; ציפורי ושות', 2022).

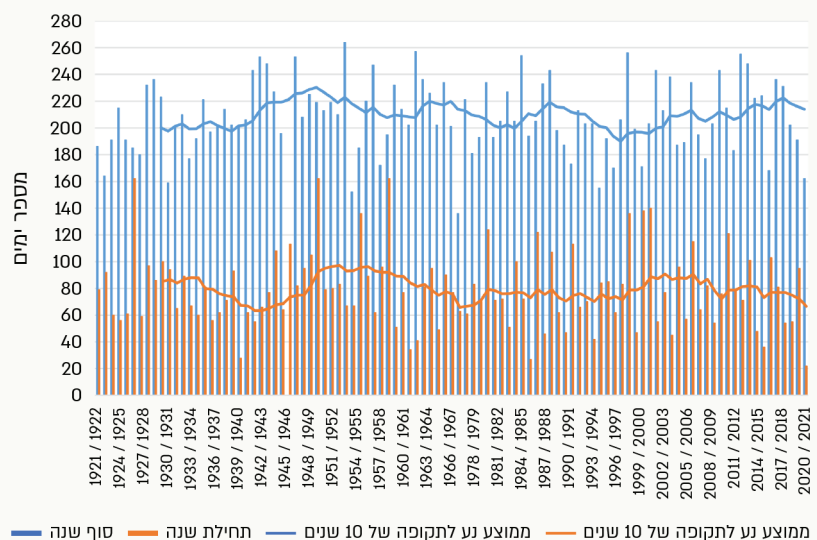
במסגרת המחקר הנוכחי בצפון הנגב נבחנו מגמות השינויים במשתנים שונים של משטר הגשם. בכל תחנות צפון הנגב שנבחנו נמצאה שונות בין-שנתית גדולה בכל מאפייני הגשם. נמצא כי מגמות השינויים לאורך הזמן היו אפסיות ולא מובהקות. **למעשה, מתחילת המדידות ועד לשנת 2021 אין מגמת הפחתה או הגדלה של כמויות הגשם השנתיות, הסוכפיות והיומיות בצפון הנגב. לא נמצאו מגמות לשינוי במועדי התחלה וסוף של עונת הגשמים** (איור 4). לא נמצאו מגמות גם במספר אירועי הגשם בשנה שכמויות הגשם בהם היו מעל 10 מ"מ או מעל 30 מ"מ.

מחקר שערך השירות המטאורולוגי הישראלי מציג תחזית לדפוסי המשקעים הצפויים בישראל בהתאם לתרחיש ריכוז גזי החממה. בהתאם לתרחיש של שינוי האקלים, צפויה ירידה בכמות המשקעים הממוצעת לקראת סוף המאה ה-21, והירידה העיקרית בכמות צפויה להתחיל לקראת אמצע המאה. לקראת אמצע המאה צפויה גם עלייה במשך הרציפים של שנים שכמות הגשם השנתית בהן תהיה מתחת לממוצע (ונגר ושות', 2021).

ממחקר שנערכה בו תחזית למשטר הגשם בישראל בסוף המאה הנוכחית והמתייחס לשינויים במאפייני הגשם בסוכפות עתירות משקעים (Armon et al., 2021), עולה כי סוכפות הגשם בעתיד יהיו "מרוכזות", וגודל השטח המומטר בסוכפה יקטן בשיעור של 40%. עוצמת הגשם בסוכפות האלה תגדל ב-15%, ומשך זמן הסוכפות יקטן ב-9%. השינויים הללו יגרמו לירידה בכמות הגשם הכוללת בשיעור של 30%.

איור 4

מועדי התחלה וסוף של עונת הגשמים לאורך שנות המדידה בתחנת באר שבע
 מספר הימים המצוין נספר מ-1 בספטמבר בכל שנה.



ארוך הטווח ביער יתיר עשוי להעמיק את ההבנה של מאזן המים ביער בוגר, ואולי אף לספק הנחיות חדשות לדילול יער ותיק, הנחיות שיתווספו לתורת ניהול היער בישראל.

בישראל (אוסם ושות', 2014), מנחים את עוצמות הדילול. הסיכוי לחזרת השנים השחונות שהיערות לא חוו בעבר (איור 3), מעלה את חשיבות דילול היערות במועד, במטרה להגביר את עמידותם בשנים השחונות. המשך המחקר

מקורות

ציפורי א, יוסף י וחלפון נ. 2022. **מגמות בגשם כבד בישראל בתקופה 1951–2021**. דו"ח מחקר מס' 4000-0804-2019-0000075, השירות המטאורולוגי הישראלי.

Armon M, Marra F, Enzel Y, Rostkier-Edelstein D, Garfinkel CI, Dayan U, et al. 2022. Reduced rainfall in future heavy precipitation events related to contracted rain area despite increased rain rate. *Earth Future*, 10(1), e2021EF002397.

Dorman M, Perevolotsky A, Sarris D, and Svoray T. 2015. Amount vs. temporal pattern: on the importance of Intra annual climatic condition on tree growth in a dry environment. *Journal of Arid Environments*, 118, 65–68.

Raz-Yaseef N, Yakir D, Rotenberg E, Schiller G, and Cohen S. 2009. Ecohydrology of a semi arid forest: partitioning among water balance components and its implications for predicted precipitation changes. *Ecohydrology*, DOI 10.1002/eco.65.

Raz-Yaseef N, Yakir D, Schiller G, and Cohen S. 2012. Dynamics of evapotranspiration partitioning in semi arid forest as affected by temporal rainfall patterns. *Agriculture and Forest Meteorology*, 157, 77–85.

Preisler Y, Tatarinov F, Grunzweig JM, Bert D, Ogee J, Wingate L, et al. 2019. Mortality versus survival in drought-affected Aleppo pine forest depends on the extent of rock cover and soil stoniness. *Functional Ecology*, 33, 901–912.

אסם י, ברנד ד, טאובר י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. **תורת ניהול היער בישראל, מדיניות והנחיות לתכנון ולמשק היער**. אגף הייעור, קרן קימת לישראל.

ארבל ש, גטקר מ וארזי ע. 2006. **נתוני שטפונות וגשם באירועים חריגים, סיכום השנה ההידרולוגית 2002/2003**. התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות.

גטקר מ וארבל ש. 2006. **השפעת היעור, פעולות שימור קרקע וניהול רעייה בדרום הארץ, על היבטי זרימה וסחף קרקע**. דו"ח מס' 90-9-171-03, התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות וקרן קימת לישראל, מרחב דרום.

גתיר ג, גטקר מ, ארבל ש, זונט מ, גוטסמן מ ופיזיק א. 1995. **משטר הגשמים בנגב ובערבה בחורף 1994/95 ואירועי הגאיות אשר התרחשו בעקבותיו**. דו"ח מיוחד מס' M-52. התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות וקרן קימת לישראל, מרחב דרום.

השירות המטאורולוגי הישראלי. 2023. אתר האינטרנט <https://ims.gov.il> ונגר ד, חלפון נ ויוסף י. 2021. **מגמות היסטוריות ומגמות חזויות בדפוסי המשקעים בישראל עד סוף המאה הנוכחית**. השירות המטאורולוגי הישראלי.

יוסף י, בהר"ד ע, אזול ל, אוסטינסקי-צדקי א, כרמונה י, חלפון נ ושות'. 2019. **שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורה והמשקעים**. דו"ח מחקר מס' 4000-0804-2019-0000075, השירות המטאורולוגי הישראלי.

חלפון נ ויוסף י. 2021. **השוואת שלוש תקופות תקן סטנדרטיות בכמות הגשם בישראל**. השירות המטאורולוגי הישראלי.

משה י וספרינצין ש. 2002. **דו"ח סקי בצורת ביערות מרחב דרום**. קרן קימת לישראל, מרחב דרום.



ממשק יער יתיר, המבוסס על ידע מחקרי ועל ניסיון, מאפשר את שרידות היער שנטיעתו החלה בשנת 1964 צילום: יצחק משה

צרכים וביקושים של מבקרים מהחברה הערבית באגמון החולה

נרית קורן-לורנס*¹ | נגה קולינס-קריינר**²

- | | |
|----|---|
| 1 | המרכז האקדמי לחינוך וחברה אורנים |
| 2 | החוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה |
| * | Nirit_kl@oranim.ac.il |
| ** | Nogack@geo.haifa.ac.il |

תקציר

על התנהגותו בעת ביקור באתר. לצד זאת המחקר מעלה סוגיות שונות סביב ניהול המבקרים באגמון, שאינן קשורות לקהל יעד כזה או אחר, אלא לאופן ניהול האתר, המבקרים וחווית הביקור.

מהמחקר עולות מספר מסקנות הנוגעות לניהול האתר ולקשר אל החברה הערבית, ומכאן נגזרו גם המלצות מעשיות. נוסף על כך, המחקר העלה על סדר היום של התיירות בישראל סוגיה חשובה נוספת: צרכים, העדפות וביקושים של מעל 20% מאוכלוסיית ישראל כלל לא נחקרו ואינם ידועים. זהו מצב בלתי סביר, שהשפעתו השלילית ניכרת בתחום הסביבתי, בפוטנציאל הכלכלי וכן בהשפעה של היעדר המידע על התוצאה החברתית והתרבותית.

מחקר זה בוחן את הביקוש של אגמון החולה כאתר למבקרים מהחברה הערבית, כולל מאפייני הקהל המתעניין, העדפותיו וציפיותיו, וכן את ההיצע העומד לרשותם באתר. בשנים האחרונות ניתן לראות בתחום התיירות מגמה של מעבר ממוצר לחוויה ומתיירות פסיבית לאקטיבית, וכן ניכרת עלייה בביקוש למרחבי פנאי ונופש בחיק הטבע. המחקר מצביע על שינויים ניכרים בחברה הערבית בישראל, שמהווה מעל 20% מהאוכלוסייה והיא מרכיב משמעותי בתיירות הפנים בכלל ובתיירות באתרי הטבע וביערות קק"ל בפרט. עם זאת, לא נמצא כל מחקר שנערך בשני העשורים האחרונים ועוסק במגמות התיירות ובדפוסי הביקור באתרי הטבע של חברה זו.

המחקר בוצע עבור מרחב צפון בקק"ל, במטרה לנתח את התנהגות המבקרים מהחברה הערבית באגמון החולה, ולהפיק המלצות מעשיות לניהול ולפיתוח של האגמון עבורם. זהו מחקר איכותני שנערך במהלך החודשים אפריל-יולי 2022 באמצעות ראיונות ותצפיות.

ממצאי המחקר מעלים כי החברה הערבית אינה מהווה כיום קהל יעד מובחן לאגמון החולה, והמשמעות היא כי בהיבטים רבים הביקור אינו מותאם לקהל יעד זה, עובדה המשפיעה

מילות מפתח

ניהול, תיירות אקולוגית, תרבות פנאי

מבוא ומטרות המחקר

הגישה כיום היא לאפשר למבקרים לחוות את הדברים תוך כדי שימוש בכל החושים, מתוך הבנה שהם רוצים להשתתף בפעילות התיירותית באופן פעיל – ללמוד, להתנסות, לפעול – ולא רק לראות דברים. גישה זו קשורה למגמה של חיפוש החוויה התיירותית שהזכרנו קודם, והיא תוארה כמורכבת מארבעה היבטים: לימוד, אסקפיזם, אסתטיקה ובידור. בהמשך נוסף לרשימה רכיב נוסף, אותנטיות, המעצים את החוויה ואת תחושת הסיפוק (Quadri-Felitti and Fiore, 2012; Rickly-Boyd, 2012).

הביקוש למרחבי נפש ופנאי בחיק הטבע

הביקוש למרחבי נפש ופנאי בחיק הטבע מתפתח בעולם המערבי ונמצא במגמת עלייה. עלייה בזמן הפנוי, בהכנסות ובאיכות החיים, יחד עם העירור המואץ, מביאה לעלייה חדה בביקוש לשטחי טבע. נפש בחיק הטבע, ובכללו נפש באגמון החולה, מוכר כיום כתחום חיוני וכפעילות הנותנת מענה לצורכי האוכלוסייה העירונית (גלבמן ושות', 2013).

במדינות רבות בעולם הכירו זה מכבר בפוטנציאל של אתרי פנאי, נפש ותיירות בחיק הטבע וכן בחשיבות של ניהול האתרים כדי לשמור על האיזון שבין שביעות רצון המבקרים לבין שמירה על משאבי הטבע והתרבות שבהם. משאבים אלה הם גורמי המשיכה העיקריים של הטבע, וביחד עם תשתיות תיירותיות ומתקני שירות שונים הם משפיעים על החוויה של המבקר (Clawson and Knetsch, 2013).

מגמות עיקריות בתיירות הפנים בישראל

פלח השוק של תיירות הפנים בישראל מרכזי וחשוב ביותר לתעשיית התיירות הישראלית בכללה. חשיבותו נעוצה הן בהיקפיה הרחבים של תיירות הפנים ביחס להיקפיה המצומצמים יותר של התיירות הנכנסת, הן בהיותה מושפעת הרבה פחות מאשר התיירות הנכנסת מהמצב הביטחוני המשתנה בישראל ובמזרח התיכון (קולינס-קריינר וכתר, 2021). תיירות הפנים כוללת שלושה סוגים של נופשים: טיולים חד-יומיים, טיולים רגליים במסלולים שונים בטבע הכוללים לינה, וחופשות הכוללות לינה של יותר מלילה אחד ומתוכננות מראש ('חופשות עוגן' בזמנים קבועים יחסית, כגון חופשות קיץ). ההשפעה הכלכלית על האזור רבה יותר, באופן חד-משמעי, ככל שמשך שהייה בו עולה וכולל לינה (משרד התיירות, 2019).

לגידול בתיירות בעולם ובישראל ישנם גורמים רבים מאוד, ובהם גידול האוכלוסייה, גידול בתוצר הגולמי לנפש (תל"ג), גידול בזמן הפנוי, התארכות תוחלת החיים, שיפור הבריאות, ירידה במחיר הטיסות ואפשרות לינה ב-Airbnb, שיפורים בתחבורה ובטכנולוגיה, חשיפה תרבותית, שיפור התשתיות והנגישות עבור אוכלוסיות מוגבלות, התגברות הרב-

מחקר זה בוצע עבור מרחב צפון של מחלקת קהילה ויער בקק"ל, והוא עוסק בניתוח ההתנהגות הצרכנית ודפוסי הביקור של מבקרים מן החברה הערבית באגמון החולה. מטרת המחקר היו א. בחינת הביקוש של מבקרים מהחברה הערבית באגמון החולה, כולל מאפיינים, העדפות וציפיות וכן בחינה של ההיצע עבורם באגמון; ב. ניתוח של התנהגות הצרכנים מהחברה הערבית באגמון; ג. חיבור המלצות מעשיות לניהול ולפיתוח של האגמון.

רקע תאורטי

הרקע התאורטי של המחקר עוסק במגמות עולמיות ומקומיות בתחום התיירות, במאפיינים של תיירות הפנים בישראל, במאפייני החברה הערבית בישראל וכן בשינויים שהיא עוברת, בפרט בהקשר של דפוסי תיירות ופנאי.

מגמות בתיירות: מעבר ממוצר לחוויה (Exponomy) ומתיירות פסיבית לאקטיבית

מתחילת המאה ה-21 המוצר התיירותי מפנה את מקומו לחוויה התיירותית, מכיוון שבעידן כלכלת השפע לקוחות מעדיפים לצרוך חוויות על פני מוצרים. כבר לפני 25 שנה הציג צמד חוקרים מודל שהתמקד בהתפתחות הכלכלה מסחורות (חומרי גלם) למוצרים (מתועשים), בהמשך ממוצרים לשירותים, ובסופו של התהליך משירותים לחוויות (Pine and Gilmore, 1998). החוקרים טענו ש'כלכלת החוויות' (The Experience Economy) או בקיצור (Exponomy) היא חלק ממגמה עולמית רחבה, ועומדת להיות הכלכלה של המאה ה-21. תופעת 'כלכלת החוויות' התפשטה מתחום הכלכלה לתחומים נוספים, כגון תיירות, תכנון עירוני, אדריכלות ועוד, וכיום היא נמצאת במוקד המחקרי והמעשי-יישומי. בשנים האחרונות המושג Exponomy צובר תאוצה בעיקר בתחום התיירות והפנאי.

בתחום התיירות החוויה באתר עצמו הופכת להיות המוצר, והיא זו שעומדת בבסיסו של ניהול הביקור באתר. נטען כי בעבר התיירים חיפשו מוצרים, ואילו כיום הם מחפשים חוויות ומעוניינים לא רק בביקור באתרים שונים, אלא בחוויות שהאתרים מספקים להם (Kim et al., 2012; Kim, 2014). התפיסה המנחה את הניהול היא כי יש לספק ללקוחות אירועים בעלי משמעות (memorable events), וכי מבקרים מוכנים לשלם עבור ערך השינוי, קרי החוויה. פיתוח מעין זה מופיע גם בתחום הצפרות, שהפך אף הוא לפעילות חווייתית (Collins-Kreiner et al., 2013), ודוגמה בולטת לכך היא הפיתוח התיירותי באגמון החולה.

המכריע מתגורר ב-69 מועצות מקומיות ערביות, והיתר במועצות מקומיות יהודיות. 41% מהאזרחים הערבים מתגוררים ביישובים עירוניים, רובם ב-12 ערים ערביות ובשבע ערים מעורבות, וחלק קטן יותר מתגורר בערים בעלות רוב מכריע של יהודים. 5.5% מהאזרחים הערבים מתגוררים ב-47 יישובים כפריים קטנים המשולבים במועצות אזוריות, והיתר (2.4%) מתגוררים ביישובים חסרי מעמד מוניציפלי, הידועים בכינוי 'כפרים לא מוכרים', ומרביתם בנגב. בסך הכול ישנם בישראל 163 יישובים שכל תושביהם הם אזרחים ערבים. מרבית האוכלוסייה הערבית הבוגרת משתייכת לשלושה עשירונים ההכנסה הנמוכים ביותר, והדבר נכון גם בהתייחס לרמת ההשכלה ולדירוג התעסוקתי שלה (חדאד-חאג' יחיא ושות', 2021).

החברה הערבית – מגמות תיירות, טיילות, נופש ופנאי

ביקור באתרי סביבה, טבע ומורשת, כגון אגמון החולה, נכלל תחת ההגדרה של 'פנאי מזדמן' (casual leisure), שהוא פעילות מקרית שאינה דורשת הכשרה מיוחדת, לרוב אקראית, קצרת מועד ולא קבועה (קרופ, 2017; היוש ונאסר-אבו אלהיג'א, 2018). הגדרה זו כוללת את דפוסי הביקור של משפחות ויחידים באגמון החולה, כשלצידם ניתן למצוא ביקורים של קבוצות תלמידים המוגדרים כ'תיירות חינוכית' (McGladdery and Lubbe, 2017).

הרוב המוחלט של המחקרים בנושא החברה הערבית בישראל עסק בהיבטים של לאומיות, מעמד מיעוטים, זהות ופוליטיקה (חוג'יראת, 2005; רכס ואוסצקי-לזר, 2005; משה, 2012; עראר וקינן, 2015; רודניצקי, 2015), בעוד שדו"חות וסקרים שונים הציגו בעיקר נתונים של דמוגרפיה, תעסוקה, השכלה, כלכלה, בריאות, דיור (רכס, 2009; חדאד-חאג' יחיא ואסף, 2017; גרא, 2018; חדאד-חאג' יחיא ובכר-כהן, 2018; הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2021; חדאד-חאג' יחיא ושות', 2021). מחקרים ספורים בלבד עסקו בנושא תרבות הפנאי והיציאה לטבע בקרב החברה הערבית בישראל, וגם הם עסקו ברובם המכריע רק בתרבות הפנאי בקרב ילדים ונוער (עראקי, 2008; קרופ, 2017; היוש ונאסר-אבו אלהיג'א, 2018). מחקר משנת 1976 עסק ב'דפוסי בילוי הזמן הפנוי של הזקן הערבי בישראל' (לבנשטיין ושות', 1976) והתמקד באוכלוסייה המבוגרת בשני יישובים בצפון, אך לא נמצאו מחקרים מהשנים האחרונות שעסקו בדפוסי ביקור או בתרבות פנאי בקרב מבוגרים ומשפחות בחברה הערבית בכללותה. עם זאת, ניתן למצוא מאמרים ומחקרים מעטים שעסקו בתיירות חינוכית ובחינוך סביבתי (אבו-סאפי, 2016; אל-עטעונה, 2016; מדאח, 2016; חלאילה, 2020), והתמה המרכזית העולה מרובם היא תהליך השינוי שעברה החברה הערבית בישראל בעשורים האחרונים, מחברה מסורתית לחברה מודרנית ומחברה כפרית לחברה עירונית.

תרבותיות, האתניות וההגירה, התרחבות העניין בסביבה ומניעים חברתיים וכלכליים נוספים (קולינס-קריינר וכתר, 2021).

בסקר שנערך כחלק ממחקר שבחן את תיירות הפנים בישראל (משרד התיירות, 2012, 2019) נמצא כי הצפון כולו היה יעד מועדף לחופשה עבור 44% מן הישראלים הנופשים, ושרבים אף בילו בו את חופשתם האחרונה בפועל. המשתתפים ציינו כי הצפון נתפס מבחינתם כמקשה אחת וכאזור תיירותי אחד בעל יתרונות רבים, כגון האפשרות להיות בטבע, "לטבול בירוק", לחוות הנאה צרופה מהנוף, למצוא ריכוז של מקורות מים לטיול, וליהנות ממזג אוויר נוח בדרך כלל וממגוון רחב של פעילויות, אתרים ומסלולי טיול לבחירה. ניתן לסכם ולומר כי לתיירות בצפון יש מקום משמעותי מאוד בתיירות הפנים בישראל.

החברה הערבית בישראל

מסמכים רשמיים של מדינת ישראל ומחקרים רבים שעסקו בחברה הערבית חלוקים באשר לאופן החלוקה של חברה זו ולאופן הגדרתה. במחקר זה נתייחס לחברה הערבית כמי שכוללת את כלל התושבים דוברי הערבית כשפה ראשונה בישראל: מוסלמים, דרוזים, נוצרים וצ'רקסים (רכס, 2009; חדאד-חאג' יחיא ואסף, 2017; הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2021). זוהי חברה בעלת מאפיינים ייחודיים ומרבית אזרחיה מתגוררים ביישובים הומוגניים ופריפריים המדורגים באשכולות הנמוכים מבחינה חברתית-כלכלית (חדאד-חאג' יחיא ואסף, 2017). בשנת 2021 מנתה החברה הערבית בישראל 2,038,000 אזרחים, שהם כ-21.3% מכלל האוכלוסייה בישראל, ובהם 84% מוסלמים, 9% דרוזים ו-7% נוצרים. כ-360,000 מהם הם תושבי מזרח ירושלים, שאינם אזרחים אלא בעלי מעמד תושבות קבע (חדאד-חאג' יחיא ושות', 2021; הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2022).

אזרחי ישראל הערביים מתגוררים בחמישה אזורים עיקריים בישראל: הצפון, המשולש, הנגב, הערים המעורבות (עכו, חיפה, יפו, רמלה, לוד, נוף הגליל ומעלות-תרשיחא) ופרוזדור ירושלים (כולל מערב העיר). עוד ניתן למצוא אזרחים ערבים המתגוררים ביישובים שונים ברחבי הארץ, בעיקר בערים גדולות שהרוב המכריע של אוכלוסייתן הוא יהודי (רכס, 2009). באזור הצפון ובערים המעורבות האוכלוסייה הערבית היא הטרוגנית (מוסלמים, נוצרים, דרוזים), ואילו באזור המשולש ובנגב היא הומוגנית (מוסלמית). עוד ניתן לראות כי בצפון משקלם היחסי של הדרוזים הוא פי שניים מהשיעור הכלל-ארצי, בעוד שמשקלם של הנוצרים בערים המעורבות גבוה פי ארבעה מהשיעור הכלל-ארצי (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2022). כמחצית (49.3%) מהאזרחים הערבים מתגוררים במועצות מקומיות. רובם

עומק ותצפיות באתר, במטרה להבין את מאפייני הביקוש, את העדפויותיהם של מבקרים מן החברה הערבית ואת ההיצע הקיים עבורם כיום באגמון החולה.

הליך המחקר

23 ראיונות עומק בני 30–60 דקות כל אחד נערכו עם המראיינים, שייצגו שלוש קבוצות של בעלי עניין וידע: בעלי תפקידים יהודים בגופים ירוקים (קק"ל, רשות הטבע והגנים); בעלי תפקידים ואנשי מקצוע מהחברה הערבית בגופים ירוקים ובתחומי הטבע והסביבה; מבקרים מהחברה ערבית.

במהלך שישה ימים בחודשים מאי–יולי 2022 התקיימו תצפיות ברחבי אגמון החולה. התצפיות נערכו גם על משפחות מבקרים מהחברה הערבית, אך בעיקר על קבוצות מטיילים מבתי ספר ערבים ובהן עשרות עד מאות תלמידים בגילים שונים ומיישובים שונים. התצפיות נערכו בימי חול וכן בימי חג של החברה הערבית.

ניתוח הנתונים התבצע תוך שימוש בשיטה התמטית, שמטרתה לזהות, לנתח ולפרש דפוסי משמעות (תמטיקה) בתוך נתונים איכותניים (שקדי, 2007). תהליך הניתוח כלל את שלב הקידוד הפתוח, שבמהלכו נקבעו יחידות הניתוח וזהו הקטגוריות, ולאחריו את שלב הקידוד הצירי, שכלל מיפוי של הקטגוריות ואיתור הקשרים ביניהן (Corbin and Strauss, 1990).

ממצאים

א. מבקרים מן החברה הערבית – מגמות שינוי

כאמור, חלק מהמראיינים הם עובדי האגמון וחלק אנשי מקצוע מחוץ לארגון, חלק מהם מהחברה היהודית וחלק מהחברה הערבית. רובם המוחלט זיהו כי החברה הערבית עברה שינויים רבים בשנים האחרונות, שבאים לידי ביטוי גם במגוון היבטים של התנהגות המבקרים באגמון.

דפוס הביקור

דפוס הביקור הנפוץ כיום הוא טיול בקבוצות מאורגנות עם מדריך וכן טיולי משפחות, בניגוד לטיולים עצמאיים בעבר:

"התחילו להסתכל על המדריכים, התחילו לבקש מדריכים, גם משפחות. למשל טיול משפחות עם מכוניות"; "כמות הקבוצות הנוצרות בחברה הערבית שרוצות לטייל ולהכיר ורוצות מדריכים (גדלה). התחרות בין המדריכים מאוד עלתה בשנה האחרונה".

כבר בשנת 1976 זיהו לבנשטיין ושות' (1976) כי החשיפה לאורח החיים המודרני מביאה לשינויים בחברה הערבית, בין היתר בהקשר של תרבות הפנאי, אך למרות זאת, בשנות ה-70 של המאה הקודמת דפוס פעילות הפנאי עדיין היה מסורתי וכלל שהייה עם בני משפחה, לרוב במקום המגורים או סמוך לו. מחקרים עדכניים יותר הראו כי השפעתו של אורח החיים המודרני ממשיכה ומתעצמת. החשיפה לחברה הישראלית המודרנית ולאמצעי התקשורת ההמוניים (טלוויזיה, אינטרנט ורשתות חברתיות) וכן יצירה של קשרים אינטנסיביים עם החברה העירונית מביאות לשינויים במגוון תחומי חיים (עראקי, 2008; קרופ, 2017; היוש ונאסר-אבו אלהיג'א, 2018). בין היתר ניתן למנות עלייה בהשכלה בכלל ובהשכלת נשים בפרט, שיפור בתשתיות התחבורה ועלייה בבעלות על רכבים פרטיים, שימוש גובר בטכנולוגיה (אינטרנט, מכשירים סלולריים) ואימוץ של ערכים ודפוסי התנהגות מודרניים (עראקי, 2008; ח'מאיסי, 2012). לכל אלה נודעה השפעה מרחיקת לכת על דפוסי תרבות הפנאי מבחינת אופן הצריכה והתוכן שלה.

סקר שערכה רשות הטבע והגנים בשנת 2016 בקרב תושבים מהחברה הערבית בישראל, העלה כי כ-90% מהם נוהגים לצאת לאתרי טבע לפחות פעם בשנה. עוד נמצא, כי הילדים הם הגורם המשפיע ביותר במשפחה על בחירת היעד, ובהתאם לכך אחד השיקולים החשובים בבחירה של מקום בילוי בטבע יתבסס על קיומה של פעילות ייעודית לילדים (30% מהמשיבים ציינו זאת). מרכיבים חשובים נוספים שצוינו היו צל (22%), מים (17%), מקום לבישול 'על האש' (10%), מסלול רגלי (6%) והדרכות והסברים (4%). רוב המשיבים ציינו כי הם מטיילים במהלך סוף השבוע (ימי שישי, שבת וראשון) וכן בתקופת החגים של החברה הערבית – מוסלמית, נוצרית ודרוזית (רשות הטבע והגנים, 2016). עוד העלה הסקר כי קיימת חשיבות גבוהה מאוד לקיומם של שילוט, הסברים והפעלות בשפה הערבית, וכי ההיענות תגבר אם יהיו קמפיינים ושיווק בשפה הערבית ובמכוונות לחברה הערבית.

לא נמצא כל מחקר ב-20 השנים האחרונות שעסק בחברה הערבית בישראל בהקשר של מגמות תיירות, טיילות, נופש ופנאי, וזאת על אף העובדה כי חברה זו מהווה למעלה מ-20% מהאוכלוסייה. התקווה היא כי מחקר זה הוא 'הסנונית הראשונה' בתחום.

שיטת המחקר

רציונל לבחירת שיטת המחקר

המחקר נערך בחודשים אפריל–יולי 2022 והיה איכותי בגישתו. איסוף הנתונים התבסס על שני כלי מחקר, ראיונות

העדפות הביקור

ניכר כי המבקרים מגיעים למסלולי טיול, בעוד שבעבר חיפשו בעיקר אתרי ביקור נקודתיים:

"סגנון הטיול אצלנו במגזר משתנה. מפיקניק ועד ללכת לעשות מסלול טיול, ולהכיר כמה שיותר את המקום. זה לא היה"; "בשתיים-שלוש השנים האחרונות יוצאים המון, יותר ממה שיצאו לפני. לפני כן לא היו יוצאים ומכירים, או שיוצאים יותר לחו"ל".

יכולת התנועה

רבים בחברה הערבית מגיעים כיום למקומות שלא נהגו להגיע אליהם בעבר, אם בשל אמצעי תחבורה נגישים יותר (כגון רכב פרטי) ואם בשל היכרות, חשיפה ומודעות:

"אני מוצא משפחות מהחברה הערבית במקומות שלא היו בהם. כשאני עומד בתחנת מידע, אני רואה שיש עלייה גדולה בביקור של אנשים במגזר הערבי במסלול. מגלים מחדש את הארץ".

דפוסי התשלום

בניגוד לעבר, ישנה נכונות לשלם באופן מלא על כניסה לאתרים ועל חוויות:

"המגזר הערבי עף על זה, ואולי בגלל דמי הכניסה. המגזר הערבי אוהב לשלם כניסה לאתרים, אוהב להגיע למקומות שמשלמים בהם, כי כשמשלמים יש לזה ערך".

שימוש בטכנולוגיה

מצאנו התרחבות של השימוש ברשתות החברתיות, ומסתבר שהשימוש בטכנולוגיה הוא היבט שינוי משמעותי:

"הפרסום לאתרים דרך המדיה החברתית של אנשים פרטיים מפה לאוזן, וכך אנשים בוחרים לאן להגיע"; "יש שני אנשים (...) שמפרסמים ב"תשישיני" (קח אותי לטבע, לחוץ) שנותן מקומות יפים בארץ. אחד מהם (...) האגמון, אבל משווק תחת הגדרה של אטרקציות שאפשר לעשות (אופניים וקלאב-קאר)... גרם לזה שיגיעו הרבה אנשים. אז אנשים באים דרך האפליקציה, ורוצים לעשות רק את האטרקציות. גם יש פרסומים בטיקטוק ובפייסבוק".

זיהוי שינויים העוברים על החברה הערבית נתמך במחקרים קודמים (עראקי, 2008; ח'מאיסי, 2012) ובנתונים סטטיסטיים על החברה הערבית בישראל (חדאד-חאג' יחיא ושות', 2021; הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2022). ממצאי המחקר תואמים למגמות העולמיות של התפתחות כלכלת החוויות לצד עלייה בביקוש לביקור באתרי טבע

וסביבה (Quadri-Felitti and Fiore, 2012; Kim 2014), ולמגמות התיירות שזוהו בישראל (קולינס-קריינר וכתר, 2021).

ב. החברה הערבית כקהל יעד

אופן ההתייחסות למבקרים מן החברה הערבית נע בין ראייה שלהם כגורם מפריע או כבעיה שיש להתמודד איתה (מפריעים, מלכלכים, גורמים לוונדליזם) לבין תפיסה שלהם כגורם מקדם לאגמון החולה וכקהל יעד פוטנציאלי לביקור ולשהות במקום:

"יש לחברה הערבית את הייחוד שלה כתברה צרכנית".

שתי תפיסות אלה מובילות לפעולות שונות בתכלית, האחת מניעתית-תגובתית, כגון פיקוח, סדרנים, דו"חות וכדומה, והשנייה ניהולית-פרואקטיבית, כדוגמת אירועים ייעודיים, תרגום לערבית, פעולות שיווק ועוד. לא ניתן היה לזהות במחקר הנוכחי אם למחזיקים בכל אחת מהתפיסות יש מאפיינים דומים, כלומר אם העמדות האלה קשורות לרקע תרבותי, מקצועי, ארגוני או אחר. חשוב לציין כי כלל העובדים המרואיינים הביעו הערכה רבה וחיבור עמוק לאתר ולערכיו הסביבתיים וכן רצון לשיפור חוויית הביקור של מבקרים בכלל ושל מבקרים מן החברה הערבית בפרט. בעיקר ניתן היה להתרשם מהתחושות הללו בקרב עובדי האגמון בתפקידים ובדרגים שונים.

ג. אתגרים בניהול המבקרים באגמון החולה

מתוך התצפיות והראיונות עלו מספר נקודות שחזרו על עצמן ומעידות על אתגרים שונים בניהול המבקרים מן החברה הערבית. העיקריות שבהן הן:

הגעה בו-זמנית של קבוצות גדולות מאוד, בעיקר של תלמידים, עם מספר קטן של מורים ומבוגרים מלווים. התוצאה היא קושי לכוון את ההתנהלות של התלמידים במרחב, ולעיתים אף חוסר שליטה מוחלט לגבי המקומות שהם הולכים אליהם, עד כדי סכנה של איבוד הדרך באתר ואף סכנת חיים:

"כשמגיעים, השומר יודע איזו קבוצה מגיעה, נכנסים למרכז מבקרים, ואז מתחיל הברדק. מתפזרים – תרתי משמע. המורים לא מצליחים להשתלט על ההתפזרות. המורה יבוא לקופות לשלם, ואז הם אמורים ללכת לאופניים. הברדק קורה גם בהתחלה וגם בסוף. עולים למעלה, לקפיטריה, עוברים גדרות..."

קשיים בשליטה על הקבוצה בזמן רכיבה על אופניים. הקבוצות מתפזרות ולא נעות ביחד, ולעיתים נגרמת פגיעה

ברכוש, לקיחה של אופניים מרוכבים אחרים, נטישה של אופניים בשטח או נסיעה בניגוד לכיוון התנועה:

על ניהול התלמידים והובלתם במהלך היום: "הבעיה היא טיולי בתי ספר. המרות לא אוהבות ללכת ולא רוצות ללכת".

"באופניים יש מדריכים בשפה הערבית, מדריך על 50 איש. שמים לב שקבוצות בלי מדריך יותר מפוזרות".

אין שיווק מנוהל ופרו-אקטיבי לחברה הערבית. הרוב המוחלט של המבקרים מגיעים לאחר שראו או שמעו על האגמון ברשתות החברתיות (למשל: פרסום באינסטגרם או בלוג בנושא האופניים באגמון) ולא בגלל פעילות שיווקית של האתר:

מחסור בעובדים דוברי ערבית. הרוב המוחלט של המדריכים באתר ובאטרקציות השונות, של עובדי התפעול (קופות, מזנון, סדרנים) ושל עובדי מחלקת ההזמנות והמענה הטלפוני הם דוברי עברית בלבד:

"מישהי ברשתות שסיפרה על האופניים ולא ראיתי בכלל (שכתבה) חלק שקשור לציפורים, למרות שהגיעה בזמן שהיה כל כך יפה וכל כך הרבה דברים לעשות".

"...שאינן לנו נציג קבוע דובר ערבית במחלקת הזמנות, ואז אי אפשר לתת מענה. בנייתוב השיחות יש לחצן לערבית אבל בפועל אין לנו מענה לזה, ולא נעים לי עם זה. קרה לי פעם אחת שהייתי צריכה לסיים שיחה כי לא יכולנו להבין זו את זו".

דיון ומסקנות

ממצאי המחקר בנושא דפוסי הביקור והביקוש של החברה הערבית באגמון החולה העלו כי ישנן סוגיות הקשורות למאפייני החברה הערבית כקהל יעד ייחודי ומובחן. לצידן נמצאו סוגיות הקשורות לניהול מבקרים באתר טבע תיירותי באופן כללי, ללא קשר לזהות המבקרים ולמאפייניהם.

אין מידע זמין למבקרים בערבית. חוסר במידע טכני (הכוונה, שילוט) ובתוכן. לדוגמה, הסרט המוצג לקהל המבקרים מתורגם ואינו מדובב, מה שמקשה על ילדים שאינם קוראים ערבית להבין, שמות בעלי החיים על המיצגים במבואת הכניסה לאגמון כתובים רק בעברית או באנגלית ולא בערבית ועוד:

מסקנה ראשונה בהקשר זה היא כי ראוי ורצוי להתייחס לחברה הערבית כאל פלח שוק או קהל יעד בעל פוטנציאל רב לביקור ולשהות באגמון, ויש להיערך לקליטתו כפי שנערכים לקליטת כל קהל יעד אחר בעל ייחודיות (תיירות חרדית, תיירות מבוגרים וכדומה). לחברה הערבית יש היתכנות כלכלית גבוהה מאוד, הן בשל שיעורה באוכלוסייה (למעלה מ-20%) הן בשל מגמות שינוי העוברות עליה ובאות לידי ביטוי בגידול הצריכה של פנאי ותיירות, בשינוי בדפוסי הביקור, בנכונות לשלם על חוויות ופעילויות, בגישה ובזמינות לרשתות חברתיות ולטכנולוגיות שונות ועוד. ניתן להציע מספר דרכים לקידום הקשר עם החברה הערבית ולקליטה של צרכניה, כגון: א. מתן מידע בשפה הערבית בשילוט, בסרט (דיבוב ולא תרגום), בברושים ובמידע מקצועי (כגון: שמות ציפורים, מידע באתר אינטרנט); ב. הגדלה של מספר העובדים דוברי הערבית בצוות האגמון במחלקת ההזמנות, במענה הטלפוני, בקרב המדריכים ועובדי התפעול (קופות, מזנון, סדרנים); ג. פיתוח פעילויות וחוויות המותאמות לתרבות הערבית על שלל גווניה ומרכיביה, תוך התייחסות לאירועים בלוח השנה (חגים מוסלמיים/נוצריים/דרוזיים); חופשות חורף ואביב במערכת החינוך; ימי שישי, שבת, ראשון); ד. שיפור הנראות והבולטות של אגמון החולה במדיה הדיגיטלית בחברה הערבית (אפליקציות כגון טיק-טוק ואינסטגרם), יצירה של

"חסר מידע בערבית... קראתי ולא ידעתי איך קוראים לזה... הסרטון – הילדים לא מצליחים לקרוא את התרגום וזה יוצר בעיה... הצטרפתי לעגלת המסתור ואין שם הדרכה בערבית, והיה צריך שמישהו יתרגם. ההדרכה הכפולה (עם התרגום) מוציאה מהריכוז, ומי שמתרגם לא בהכרח מכיר את הנושא לעומק בערבית, למשל שמות של הציפורים בערבית".

חוסר היכרות עם הפעילויות שמציע האגמון. רוב המבקרים מהחברה הערבית מגיעים בקבוצות מאורגנות (בעיקר תיירות חינוכית), שרובן המוחלט מגיעות לפעילות האופניים. המבקרים אינם מכירים את הפעילויות ואת התוכן הסביבתי, אינם מודעים לקיומם, ולכן אולי גם אינם מעוניינים בהם.

אין הסברה או קשר מסודר לפני ההגעה לאתר עם הקבוצות ועם המובילים שלהן (מורים, מדריכי טיולים). מגיעים עם ידע מועט מאוד על האתר ועל מה שניתן ומותר לעשות בו:

"אנחנו לא מנהלים את המבקר לפני שהוא מגיע לפה. לא מייצרים הסברה למבקר לפני שהוא מגיע".

מלווי קבוצות רבים (מורים, הורים) מגיעים עם ציפיה ליום כיף, ולא תופסים את עצמם כבעלי תפקיד או אחריות

סיכום

אגמון החולה הוא אתר ייחודי ברמה לאומית ובין-לאומית, הן בהיצע הסביבתי, החווייתי והתיירותי הקיימים בו, הן באופן התהוותו כשותפות בין גוף ציבורי-סביבתי (קק"ל) לגוף חקלאי-עסקי (משקי החולה). המחקר שערכנו הצביע על שלושה תחומים הקשורים לדפוסי הביקור והביקוש של החברה הערבית באגמון החולה, שכדאי לתת להם תשומת לב: א. ניהול הקשר עם החברה הערבית בישראל כקהל יעד משמעותי באתרי טבע ופנאי; ב. חשיבות ההתאמה והניהול של הביקור ושל חוויית המשתמש באתר טבעי-תיירותי; ג. מחקר אקדמי ומקצועי לבחינה של דפוסי הביקור והפנאי של החברה הערבית בישראל. מתוך מחקר זה עלתה סוגיה חשובה הנוגעת לסדר היום של התיירות בישראל, שעולה ממנו כי צרכים, העדפות וביקושים של מעל 20% מאוכלוסיית ישראל כלל לא נחקרו ואינם ידועים. זהו מצב בלתי סביר, שהשפעתו השלילית ניכרת הן בתחום הסביבתי, הן בפגיעה בפוטנציאל הכלכלי, הן בתוצאה חברתית ותרבותית. אנו תקווה כי מחקר זה הוא 'סנונית ראשונה' של עשייה מחקרית בתחום.

מגבלות המחקר הנוכחי הן היקפו הגאוגרפי המצומצם (מיקוד באתר אחד בלבד), מושאי המחקר (מספר מצומצם של ראיונות ותצפיות) ומשך המחקר (שבועות אחדים). אי לכך, המלצתנו היא לבצע מחקרי המשך (כמותיים ואיכותיים) בנושאים: דפוסי פנאי ונופש של החברה הערבית בישראל לפי מאפיינים דמוגרפיים ותרבותיים או לפי סוגי אתרים ופעילויות פנאי; העדפות וביקושים של החברה הערבית בישראל בעונות שונות ובאתרים שונים; תהליכי השינוי העוברים על החברה הערבית בישראל בהיבטים של עיור, מודרניזציה ושינויים תרבותיים ובחינה מעמיקה שלהם.

תודות

ברצוננו להודות לשמעונה סבג-דרעי, מנהלת המחלקה לקהילה ויער במרחב צפון, שראתה לנגד עיניה את נחיצות המחקר בנושא העדפות הקהל בחינוכי אגמון החולה וקידמה אותו בכל דרך אפשרית. כמו כן, אנו מבקשות להודות לד"ר עמרי בונה, מנהל מרחב הצפון לשעבר של קק"ל, שאפשר את קיום המחקר, לאפי נעים, מנהל האגמון, ולכל אותם מראיינים שענו בסבלנות ובהבנה על שאלותינו. המחקר נערך בפועל תודות למסירות של עובדי קק"ל ועובדי אתר האגמון שסייעו בידינו ככל שניתן מתוך הערכה לקידום מחקר בנושא חשוב זה.

שיתופי פעולה עם בלוגרים ויוטיוברים בעלי נוכחות במרחב הדיגיטלי דובר הערבית, שימוש ברשתות חברתיות לצורך העברה של מסרים סביבתיים ומידע ספציפי על האתר, הנגשת האתר בערבית; ה. קידום מחקר מקצועי שיעסוק בנייתוח הביקושים והצרכים בתחום הטיילות והתיירות בחברה הערבית. קיים מחסור במידע ובנתונים שמונע פנייה לחברה זו ומתן מענה מותאם.

מסקנה שנייה נוגעת לאופן הניהול של המבקרים באגמון החולה באופן כללי. מן המחקר עולה כי ישנן נקודות שונות שהניהול בהן אינו מיטבי, ללא קשר לזהותם של המבקרים. ניהול נכון מאפשר למבקר למצוא את האתר במלואו וליהנות מחוויית הביקור, מסייע בשמירה על בטיחות המבקרים, ומגן על ערכי הטבע והסביבה.

כדי להגיע לאיזון הראוי בין חוויית המבקר לבין הגדלת הכנסות האתר ושמירה על ערכי הטבע והסביבה רצוי לפעול תוך מתן תשומת לב והבחנה בין ניהול הביקור לבין ניהול החוויה.

למשל, יש לשים לב לפעולות שניתן לעשות לפני הביקור עצמו, כגון: הסבר מראש באתר ובעל פה בעת שיחות הרכישה עם נציגי המכירות על אודות תהליך הרכישה המקדים והפעולות שמתקיימות באתר עצמו; משלוח של מידע מקדים למבקרים (יחידים או קבוצות) בצורה של ברשור או דף מידע בעברית, באנגלית ובערבית, שיגיעו לטלפון הנייד או למייל עד 24 שעות לפני הביקור; עבור קבוצות חשוב להתאים את האטרקציות והפעילויות לקבוצה (מבחינת גיל, עניין, כמות משתתפים, הקשר הביקור [חינוך, פנאי, כיף, גיבוש], מועד הביקור ועוד). לפני הביקור ניתן לנקוט פעולות, כגון: הקצאה של מקומות התכנסות לקבוצות; שילוט מתאים במגוון שפות בכל רחבי האתר, מן הכניסה ועד לאטרקציות השונות; יצירה של מסלולי ביקור שונים המאפשרים למספר קבוצות לשהות באתר במקביל, ללא עומסים, תוך מיצוי של מגוון האפשרויות שהאתר מציע. במהלך הביקור יש לוודא כי המבקרים, יחידים או קבוצות, צופים בסרט ובמיצגים השונים הכלולים בכרטיס הכניסה, וכך יונגשו מידע חשוב על האתר ועל ערכי הטבע הייחודיים וכן הנחיות התנהגות ומידע חיוני נוסף. גם אחרי הביקור ניתן וחשוב לשמור על קשר עם המבקרים באמצעות פעולות מוכרות בתחום התיירות, כגון: מתן שובר הנחה לפעילות או לכניסה לתלמידים, שהגיעו באמצעות פעילות בית הספר, לביקור הבא עם המשפחה; משלוח של קישור למילוי משוב קצר על חוויית הביקור; משלוח של דיוור קבוע הכולל עדכונים ומידע למזמיני פעילות, למדריכי קבוצות, לסוכנים ועוד.

- אבו סאפי נ. 2016. חינוך, חברה, תרבות ותוכנית של"ח וידיעת הארץ בחברה הערבית. **הטיול ככלי חינוכי-ערכי**, 5, 73-83.
- אל-עטעונה ק. 2016. הטיול בחברה הבדווית בנגב. **הטיול ככלי חינוכי-ערכי**, 5, 72-59.
- גלבמן א, הטב-כהן ק ושוכלו נ. 2013. **דפוסי פעילות מבקרים, עמדותיהם ותפישתם כלי חוויית הביקור ביערות קק"ל**. דו"ח עבור קרן קימת לישראל.
- גרא ר. 2018. **ספר החברה הערבית בישראל (9): אוכלוסייה, חברה, כלכלה**. ירושלים: מכון ון-ליר.
- היוש ט ונאטר-אבו אלהיג'א פ. 2018. פנאי של מתבגרים ערבים. **מפגש לעבודה חינוכית-סוציאלית**, 48, 40-117.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2021. **שנתון סטטיסטי לישראל מס' 72**.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2022. **שנתון סטטיסטי לישראל מס' 73**.
- חוג'ראת מ. 2005. **זהותם הקולקטיבית של תלמידי תיכון בני המיעוט הערבי בישראל: זהות מורכבת והערכה עצמית קולקטיבית** (חיבור לקבלת תואר דוקטור). באר שבע: אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.
- חדאד-חאג' יחיא נ ואסף ר. 2017. **החברה הערבית בישראל - תמונת מצב חברתית-כלכלית**. המכון הישראלי לדמוקרטיה והמשרד לשוויון חברתי.
- חדאד-חאג' יחיא נ ובכר-כהן י. 2018. **האוכלוסייה הערבית בישראל במספרים: תמונת מצב על פי סקר הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה 2018**. המכון הישראלי לדמוקרטיה.
- חדאד-חאג' יחיא נ, ח'לאלי מ, רודניצקי א ופרג'ון ב. 2021. **שנתון החברה הערבית בישראל 2021**. המכון הישראלי לדמוקרטיה והמשרד לשוויון חברתי.
- ח'לאילה ח. 2020. **החינוך הסביבתי בחברה הערבית בישראל. קשר עין**, 298, 23-22.
- ח'מאסי ר. 2012. **הטרנספורמציה מכפריות לעירוניות בקרב היישובים הערביים בישראל. אופקים בגאוגרפיה**, 81-82, 122-142.
- לבנשטיין א, נאחס פ ואסטפן מ. 1976. **דפוסי בילוי הזמן הפנוי של הזקן בכפר הערבי בישראל. גרונטולוגיה**, 7, 41-47.
- מדאח א. 2016. **סיורי של"ח כמחוללי שינוי בחברה הדרוזית. הטיול ככלי חינוכי-ערכי**, 5, 43-58.
- משה מ. 2012. **הסדרה תקשורתית והבניית זהות של קבוצות מיעוט בישראל. סוגיות חברתיות בישראל**, 13, 32-58.
- משרד התיירות. 2012. **סקר תיירות פנים - דו"ח מחקר**. טלסקר, עבור משרד התיירות.
- משרד התיירות. 2019. **דו"ח מצאים לסקר תיירות פנים בישראל**. עבור משרד התיירות.
- רשות הטבע והגנים. 2016. **האוכלוסייה הערבית בישראל - במספרים**. מצגת פנימית. רשות הטבע והגנים.
- עראקי ס. 2008. **דפוסי פנאי בקרב בני נוער ערבים בישראל** (חיבור לקבלת תואר דוקטור). רמת גן: אוניברסיטת בר-אילן.
- רעא ר ח וקינן ע. 2015. **זהות, נרטיב ורב תרבותיות בחינוך הערבי בישראל**. אור יהודה: הוצאת פרדס.
- קולינס-קריינר נ וכתר ע. 2021. **העדפות קהל בחינוכי יער**. יער, 21, 15-23.
- קרופ ר. 2017. **תרבות הפנאי של ילדים בדואים בנגב. עיונים בחינוך**, 15-16, 559-521.
- רודניצקי א. 2015. **המיעוט הערבי בישראל והשיח על "מדינה יהודית"**. המכון הישראלי לדמוקרטיה.
- רכס א. 2009. **החברה הערבית בישראל-אוגדן מידע**. יוזמות קרן אברהם.
- רכס א ואוסצקי-לזר ש. 2005. **מעמד המיעוט הערבי במדינת הלאום היהודית**. תל אביב: אוניברסיטת תל אביב - מרכז משה דיין ללימודי המזרח התיכון.
- שקדי א. 2007. **מילים המנסות לגעת: מחקר איכותני - תיאוריה ויישום**. תל אביב: הוצאת רמות.
- Clawson M and Knetsch JL. 2013. *Economics of Outdoor Recreation*. New York: Routledge.
- Collins-Kreiner N, Malkinson D, Labinger Z, and Shtainvarz R. 2013. Are birders good for birds? Bird conservation through tourism management in the Hula Valley, Israel. *Tourism Management*, 38, 31-42.
- Corbin JM and Strauss A. 1990. Grounded theory research: Procedures, canons and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13(1), 3-21.
- Kim JH. 2014. The antecedents of memorable tourism experiences: The development of a scale to measure the destination attributes associated with memorable experiences. *Tourism Management*, 44, 34-45.
- Kim JH, Ritchie JRB, and McCormick B. 2012. Development of a scale to measure memorable tourism experiences. *Journal of Travel Research*, 51(1), 12-25.
- McGladdery CA and Lubbe BA. 2017. Re-thinking educational tourism: Proposing a new model and future directions. *Tourism Review*, 72(3), 319-329.
- Pine B and Gilmore J. 1998. Welcome to the experience economy. *Harvard Business Review*, 76(4), 97-105.
- Quadri-Felitti D and Fiore AM. 2012. Experience economy constructs as a framework for understanding wine tourism. *Journal of Vacation Marketing*, 18(1), 3-15.
- Rickly-Boyd JM. 2012. Through the magic of authentic reproduction: Tourists perceptions of authenticity in a pioneer village. *Journal of Heritage Tourism*, 7(2), 127-144.



רוכבים על אופניים באגמון החולה, 2020
צילום: בוני שיימן, ארכיון הצילומים של קק"ל



יער של ספרים

חנוך צורף^{1*} | אבי פרבולוצקי²

- 1 אגף הייעור, קק"ל
- 2 המכון למדעי הצמח, מנהל המרכז החקלאי – מכון וולקני
- * ChanochZ@kkl.org.il

גידול עצי יער ויערות ישראל, ארץ של ספר מדבר מאת גבריאל שילר, הוצאה עצמית, 2013

תכונותיהם והתאמתם לבתי גידול, מקורות הזרעים של עצי המחט בישראל ועוד. אף על פי שאינם מספקים בהכרח מידע חדש, הם מהווים את בסיס המידע היערי המקובל כיום. לעבודה בסיסית זו אין תחליף גם עם התקדמות המחקר.

הספר דן בנושאים שונים הקשורים ליערות ישראל: הוא פותח בתיאור היסטוריה מקוצרת של היער, היערנות והמחקר המדעי בישראל. משם הוא עובר לסקירה ממצה של מיני המחטניים העיקריים ביערות הישראלית. מפורטים אזור התפוצה הטבעי של כל מין, האקולוגיה והאקו-פיזיולוגיה שלו, הכוללת יחסי קרקע-מים, וכן המגוון הגנטי, דרכי הריבוי והטיפול ביער.

לאחר מכן ניתנת סקירה מקיפה של מיני עצי החורש העיקריים המשמשים ביערות בישראל. הסקירה מצמצמת יותר מזו של המחטניים, כיוון שהיקף המחקר והניסיון

פרופ' גבי שילר הוא מראשוני חוקרי היער מ"תוצרת הארץ". גבי אומנם נולד וגדל בישראל, אבל את ראשית חינוכו היערי רכש בשווייץ בפקולטה ליערנות של הטכניון הפדרלי השווייצרי בציריך. את רוב הקריירה המקצועית-מדעית שלו עשה גבי במחלקה למשאבי טבע במנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני. גבי ניהל מחקר אינטנסיבי על נושאים שונים ביער במרחבי ישראל ופרסם מאמרים רבים בספרות המקצועית בעברית ובאנגלית.

הספר מרכז בצורה בהירה מידע חשוב וייחודי על מינים שונים של עצי יער בישראל, ניהול יער ויחסי גומלין ביערות בישראל. הספר הוא המקיף לסוגו שהתפרסם בעברית. הוא מיועד למי שעוסקים בממשק של יערות ושטחים פתוחים ובאדריכלות גנים וכן לסטודנטים ולכל מי שמתעניין בנושא.

הכותב ריכז נתונים ומסקנות מ-50 שנות מחקר בתחומים מגוונים שעסק בהם, כגון: מינים של עצי היער בישראל,

של קבוצת עצים וכן ברמה של עצים המכסים שטח גדול, כלומר יער. זהו כלי מרכזי בתכנון היער, והוא בעל חשיבות לפעילות האדם. נוסף על כך, מוצגים נתונים העוסקים ביכולתו של היער לבדוד רעשים, וגם כאן פותחו שיטות סדורות ושימות.

הספר "גידול עצי יער ויערות ישראל, ארץ של ספר מדבר" הוא ספר חובה לעוסקים בתחום היער והשטחים הפתוחים בישראל. מעבר למידע הרב הכלול בו, גם רשימת הספרות המקיפה לפרקים השונים מהווה מקור מידע חשוב.

הספר זמין להורדה ולקריאה ללא תשלום בקישור

<https://israelforests.files.wordpress.com/2013/10/d792d799d793d795d79c-d7a2d7a6d799-d799d7a2d7a8-d795d799d7a2d7a8d795d7aa-d791d799d7a9d7a8d790d79c.pdf>

הממשקי בעצי החורש קטנים יחסית. עם זאת, יש בה מידע עדכני וחשוב על הרכב חברות הצמחים שכל מין מופיע בהן, על בתי הגידול האופייניים לו ועל פעולות ממשק שונות המאפיינות את הטיפול בעץ, כגון רעייה.

ניתן מקום גם לשימוש במים (דיות) של עצי יער בישראל. המחקרים בתחום זה החלו בשנות ה-60, והיו פורצי דרך מבחינת השיטות. המסקנה הבסיסית היא כי זמינות המים היא הגורם המרכזי המכתיב את התפקוד והביצועים של עומדי היער באזורנו היובשני. הפרק מרכז את המידע שנאסף בהקשר למהלך הדיות היומי, העונתי והשנתי של מינים שונים בבתי גידול בארץ, ומסכם את אומדן הדיות השנתי של מיני העצים והקשר שלהם לבתי גידול, וכן את השפעתו של הדילול על התפתחות היער. כמו כן, מובאות מסקנות לגבי התאמת מינים של עצי יער לבתי גידול שונים וחשיבות הדילול ככלי להבטחת שרידות עצי יער על ידי הגבלת מספר העצים לדונם.

כדי להדגיש את החשיבות המעשית של המחקר בתחום היער בישראל הוקדש פרק להמלצות מעשיות לטיפול ביער, המבוססות על נתוני המחקרים. מובא דיון בעקרונות הטיפול ביער ובממשק יער נטוע בישראל. ישנו הסבר על התחדשות טבעית של יערות ועל חידוש יזום של יערות. מוצגים נתונים שנאספו בנושא, סקירת ספרות נרחבת והמלצות מעשיות. בהמשך מובא מבט רחב יותר על דרך השימוש של עצי יער במים. מוצגים יתרונותיו של ממשק יער המכוון לזמינות המים, ומושם דגש על השפעה של אירועי קיצון על שרידות העצים. גם קצב גידול הטבעות השנתיות כאינדיקטור למצב העצים נידון. הפרק נותן כלים בסיסיים לתכנון ממשק היערות ולהשפעה המעשית של הדילול.

עוד עוסק הכותב במקורות הגנטיים של מיני האורן הגדלים בארץ. הוא עורך אפיון של אוכלוסיות של אורן ירושלים ששרדו, ומציג את משמעות תוצאות האפיון לממשק היער בישראל. הנתונים המוצגים בספר מהווים את בסיס הידע הקיים בישראל כיום. אחד הניתוחים המעניינים נוגע למידת השונות הגנטית של האוכלוסיות השונות ולקשר שלה לחוסן היער, בהנחה שככל שהשונות הגנטית גדולה יותר, חוסן היער ויכולותיו לעמוד בעקות גדלים גם הם.

פרק נפרד מספק הסתכלות על היער כמערכת אקולוגית שמספקת שירותי אספקה, ויסות ותרבות. הפרק מציג שיטות ומידע לבחינת מידת התאמת היער לפעילות האדם או למי ששוכן בסביבותיו. נתונים מיקרו-אקלימיים (כמו לחות, טמפרטורה, כיוון ועוצמת הרוח) שנאספו בשטחי יער, אפשרו חישוב על פי נוסחת מדד נוחות תרמית של השפעת היער על האדם. הנתונים נבדקו ברמת העץ הבודד, ברמה



כריכת הספר
לקוח מאתר WordPress



אז והיום

כליל אדר

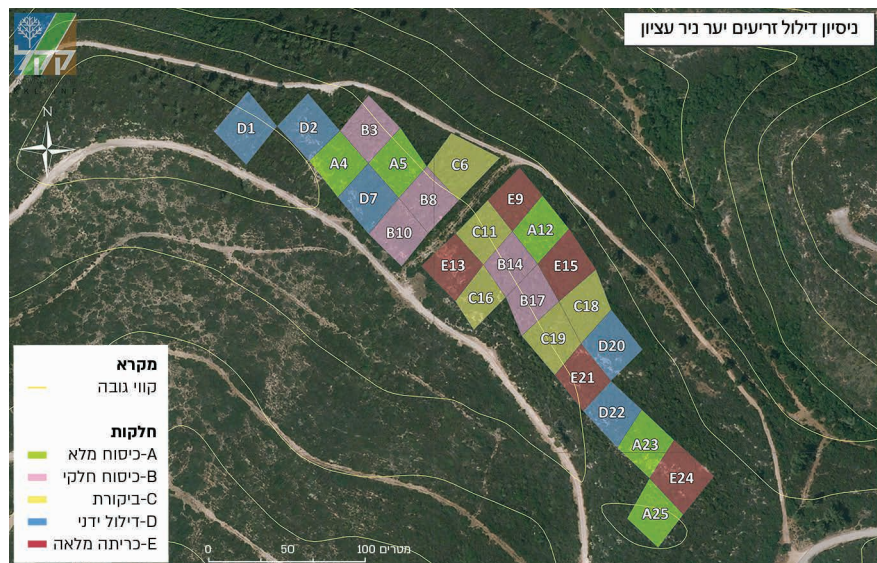
אזור הגליל העליון ורמת הגולן, קק"ל
KalilA@kkl.org.il

ניטור ארוך טווח של דילול זריעים באמצעים מכניים וידניים בכרמל

להפחתת הביומסה הצמחית, לצמצום צפיפות הזריעים ולהגדלת המגוון הביולוגי.

המערך הניסיוני כלל חמישה טיפולים עם חמש חזרות בכל טיפול, ובסך הכול 25 חלקות (איור 1). הטיפולים היו: א. דילול ידני והותרת צפיפות של כ-40 זריעים לדונם;

ב. לבחון את יעילות הכיסוח בעזרת מרסקת פטישים (מכשיר המיועד לריסוק צמחייה) בקיץ 2015, כארבע וחצי שנים לאחר השרפה בכרמל בשנת 2010, יזמה והקימה מחלקת היער במרחב צפון מערך ניסיוני ביער ניר עציון השרוף. המטרות היו: א. לבחון שיטות דילול מכניות ולהשוות בינן לבין שיטות דילול ידניות של זריעי אורן שהיו נהוגות עד אז; ב. לבחון את יעילות הכיסוח בעזרת מרסקת פטישים (מכשיר המיועד לריסוק צמחייה)



איור 1

מפת הניסוי של דילול הזריעים

היה היעיל ביותר בהשוואה לטיפולים האחרים בתחומים הבאים: א. צמצום דרסטי של מספר הזרעים המתחדשים; ב. עלייה בביומסה של העשבונים; ג. עלייה במגוון הצומח (איור 3).

הניסוי חיזק את ההנחה שלשימוש בכלים מכניים יש יתרון ליצירת הפרעה קצרת טווח, המקטינה את צפיפות יער האורן המתחדש ומגדילה את מגוון הצמחים.

ב. כריתה ידנית של כל הזרעים; ג. כיסוח מכני מלא של כל הצומח (איור 2); ד. כיסוח מכני (חלקי) של 50% מהצומח בשטח החלקה; ה. ביקורת (ללא טיפול).

אחת לשלוש שנים (2016, 2019, 2022) נבחנו בכל חלקה מספר זרעי האורנים, עושר המינים של הצמחים המעוצים והעשבונים, מדדי כיסוי הצומח ועוד. בסיכום שבע שנות המחקר נמצא כי טיפול הכיסוח המלא



איור 2

חלקה שעברה כיסוח מכני מלא של הצומח, כולל זרעים בשנת 2015

עצי חורש, כגון אלון מצוי, אלה ארץ-ישראלית, קטלב מצוי וחרוב מצוי, לא עברו כיסוח. צילום: כליל אדר



איור 3

תקריב של חלקת הכיסוח המלא ב-2023, לאחר שמונה שנים

ניתן לראות התחדשות של אורן ירושלים ובקדמת התמונה שיחי לוטם. צילום: כליל אדר



עצים ששווה להכיר

חגי יבלוביץ'

אגף הייעור, קק"ל
hagayy@kkl.org.il

אלון התולע בבית אל

את הארץ. כמו כן, הוא מזוהה עם האלון שתחתיו נקברה מינקת רבקה כפי שכתוב בספר בראשית. במקום ישנם שרידים ארכאולוגיים המזוהים עם מקדש המלך ירבעם מתקופת בית ראשון. בתקופה הצלבנית נבנתה במקום קפלה נוצרית, ובתקופה המוסלמית היא הוסבה למבנה תפילה הכולל כיפה.

לפני יותר מעשור, בעקבות התדרדרות מצבו הבריאותי של העץ, הוא עבר שיקום אורתופדי שכלל הסרת ענפים יבשים, תמיכות לענפים הכבדים, וגידור למניעת הידוק הקרקע סביבו. כחלק מהשיקום ומהתמיכות בעץ שולב אלמנט של סולם, המזכיר את הסולם מחלום יעקב. כיום רוב חלקו המערבי של העץ חי וירוק, אך מצבו של החלק המזרחי פחות טוב. כמו כן, מצויים בגזע חללים רבים.

מדור זרעים ומשתלות בקק"ל אוסף כל שנה בלוטים של מיני האלון השונים בארץ, כולל אלון התולע, במטרה לנטוע אותם בבתי הגידול המתאימים למין זה. קק"ל נטעת פרטים של אלון התולע בשטחים מתאימים בצפון רמת הגולן, בגליל העליון ובהרי יהודה.

אלון התולע (*Quercus boissier*) הוא אחד מחמשת מיני האלון הגדלים בר בארץ ישראל (שניים מתוכם גדלים רק באזור החרמון). אלון התולע גדל בהרים בחבל הים תיכוני, לרוב ברום שמעל 800 מטר.

אלון התולע הוא עץ נשיר, בדומה לאלון התבור, אך בניגוד אליו, עליו חלקים בצידים התחתון. העץ יכול להגיע לגובה של 8-10 מטר. הוא בעל בלוטים ארוכים וספלול אופייני קצר מאוד עם קשקשים מהודקים. לעיתים תכופות תוקפים את העץ חרקים שיוצרים עפצים. העפצים משמשים להכנת צבע אדום, המכונה תולע, ומכאן שמו.

עץ אלון התולע שבפסגת יעקב (ג'בל ארטיס) הוא אחד מעצי אלון התולע הגדולים והוותיקים שנותרו בהרי בנימין. לעץ גזע גדול וענפים עבים. נראה כי העץ שרד בשל קדושת המקום, והאמונה שהתרחשו בו אירועים הקשורים למסורת היהודית.

סמוך לעץ נמצא משטח סלע גדול, ויש הקושרים אותו לסיפור "חלום יעקב" מהתנ"ך שבו הבטיח אלוהים ליעקב



אלון התולע בפסגת יעקב, אוקטובר 2023. ניתן לראות את התמיכות בעץ וכן את אלמנט הסולם צילום: חגי יבלוביץ'



התמיכות באלון התולע בפסגת יעקב, אוקטובר 2023. מאחור שרידי קפלה נוצרית / מבנה תפילה מוסלמי צילום: חגי יבלוביץ'

rain, the start and end dates of the rainy season, as well as the probability of the occurrence of rain events greater than 10 mm and 30 mm. The results of data analysis can contribute to planning soil conservation and runoff harvesting measures, and to the understanding the development and survival of processes of the forest vegetation. The trees in the forest areas were found to have suffered damage from the drought years. Therefore, in view of the climate change scenarios, even though no change trends have been found in the rain regime, we recommend preparing for and adapting forestry activity to rain events whose probability of occurrence is low.

■ The needs and requirements of Israeli Arab visitors to the Agamon Hula

Nirit Koren-Lawrence^{1*}, Noga Collins-Kreiner^{2**}

This study examines aspects of supply and demand for Israeli Arab visitors in the Agamon Hula Nature Park, including the characteristics, preferences, and expectations of these visitors. In recent years, there has been a shift from product to experience (exponomy), and from passive to active tourism. There has also been a notable increase in the demand for leisure spaces and outdoor recreation.

The study points to significant changes in Arab society in Israel, which constitutes over 20% of the population and is a significant component of domestic tourism in general, and tourism in nature sites and KKL-JNF forests in particular. Nevertheless, no research has been conducted on

the tourism trends and the visitation patterns in natural sites in Arab society.

The study was carried out for the KKL-JNF northern region. Its aim was to analyze the behavior of Arab-Israeli visitors to the Agamon Hula Nature Park and, on this basis, to generate practical recommendations for the management and development of the Agamon Hula. This qualitative study was conducted through interviews and observations between April and July 2022.

The study found that Arab society is not a focal target audience at present. This means that, in many ways, the visit to the site is not geared toward this target audience, which impacts their behavior when visiting the site. In addition, the study raises various issues regarding visitor management at the Agamon Hula Park that are not related to one target audience or another but rather to the manner in which the site, the visitors, and the visit experience are managed.

The study reaches several conclusions regarding the management of the site and its relationship with Arab society in Israel, as well as suggesting practical recommendations. The study also sheds light on an important facet of Israel's tourism agenda in general: the fact that the needs, the preferences, and the desires of a group that constitutes over 20% of the Israeli population have not been studied and remain unknown. This is a problematic situation, whose negative impact is evident in the environmental field, in economic potential, and in the effect of this lack of information on social and cultural outcomes.

1 Oranim Academic College of Education, Israel

2 Department of Geography and Environmental Studies, University of Haifa, Israel

* Nirit_kl@oranim.ac.il

** Nogack@geo.haifa.ac.il



English Abstracts

■ Eco-hydrology of a hyper-arid desert at the Ramon LTER site

Elli Groner^{*}, Naomi Berda Swiderski, Noam Ganz, Ariel Meroz, Maor Tikochinski, Yiftach Dvash, Diana Sofia Galiano, Tzvia Tzarfati, Avshalom Babad

The Ramon Long Term Ecological Research (LTER) site studies a hyper-arid ecosystem at the border of an arid and an extreme arid area. At the LTER site we study eco-hydrology, focusing specifically the interactions between water availability and biodiversity of plants and animals. Topography and rain pulses determine runoff pulses and floods that create soil moisture pulses. These pulses feed the water reserves found under the main dry stream channel. The slopes act as a "source" that creates runoff that flows to the "sink" in a source-sink dynamics system. The source-sink and pulse-reserve dynamics provide a mosaic of hydrological niches that increase the biodiversity of the hyper-arid ecosystem.

■ Analysis of the rain regime in the northern Negev

Shmuel Arbel^{1*}, Moshe Getker¹, Itshack Moshe², Moti Shriki³

Understanding the rain regime is an important element in determining land management to ensure the survival of forests and the successful rehabilitation of degraded areas in the northern Negev. The analysis of the rain regime we conducted was based on rain data from long-term monitoring stations in the northern Negev, from Ruhama in the north to Sede Boker in the south. The findings demonstrate the variability of annual rain amounts. During the measurement period, there were rainy years, in which the amounts of rain measured were extremely high compared to the multi-annual average. The number of consecutive years with low rainfall and their extent are greater than those of the rainy periods. The phenomenon of rainy or dry years, apparently has a broad spatial distribution, which is characteristic of all the stations studied in the northern Negev. The analysis of rain data up to 2021 showed no change trend in the various rain regime variables examined in the northern Negev: the annual, storm and daily amounts of

Dead Sea-Arava Science Center, Ramon Division, Ministry of Innovation, Science and Technology, Israel

* elli@adssc.org

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

2 KKL-JNF Southern Region, Israel (formerly)

3 KKL-JNF Southern Region, Israel

* arbel.shmuel@gmail.com



FOREST

Journal of Forests
and Open Lands
Management

Issue No. 25 | December 2023

Editor:

Dr. Anat Madmony

Editorial Council:

Dr. Anat Madmony

Dr. Gilad Ostrovsky

Dr. Shani Rohatyn-Blitz

Editorial Board:

Dr. Erez Barkae

Prof. Meni Ben-Hur

Dr. Omri Bonne

Dr. Rakefet David-Schwartz

Avigail Heller

Asaf Karavani

Dr. Tamir Klein

Dr. Idan Kopler

Dr. Doron Markel

Prof. Zvi Mendel

Adi Noy Ivanir

Prof. Daniel E. Orenstein

Dr. Yagil Osem

Dr. Gilad Ostrovsky

Uri Ramon

Prof. Joseph Riov

Dr. Shani Rohatyn

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 LeIsrael

Jewish National Fund

Land Development Authority

Chief Scientist

Publication Unit, Public Affairs

© Copyright

ISSN

2957-7403 (print)

2957-739X (internet)

Forest Journal Online access:

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

KKL-JNF

www.kkl.org.il

For more information

1-800-350-550

Front cover:

Shuval Forest, January 2016. Typical open areas scenery in the Western Negev – Agriculture interspersed with forest stands.

Shuval Forest is located in the Merhavim Regional Council. Nahal Tseda, a tributary of Nahal Grar, flows in the forest.

The forest was planted in 1998, with a variety of broad-leaved species, implementing soil conservation techniques and harvesting runoff for irrigation, methods that prevent soil erosion and loss.

Photo: 'Albatross', for KKL-JNF



TABLE OF CONTENTS

On the Opening Page 3

Ifat Ovadia-Luski

Editorial 4

Gilad Ostrovsky

■ **Reviews**

Resilience of Aleppo pines to drought and heat as a function of the duration of stress during the dry season 5

Itay Oz, Jonathan D. Muller, Fyodor Tatarinov, Yakir Preisler, Eyal Rotenberg, José M. Grünzweig, Dan Yakir

Eco-hydrology of a hyper-arid desert at the Ramon LTER site 16

Elli Groner, Naomi Berda Swiderski, Noam Ganz, Ariel Meroz, Maor Tikochinski, Yiftach Dvash, Diana Sofia Galiano, Tzvia Tzarfati, Avshalom Babad

***Acacia raddiana* and *Acacia pachyceras* hybrids in Nahal Shita** 24

Tom Shifrin, Adi Doron-Faigenboim, Gilad Reinfeld, Nitzan Segev, Beni Shalmon, Naomi Houminer, Rotem Attias, Inbal Pipman, Sima Kagan, Galina Shklar, Elli Groner, Leor Eshed-Williams, Rakefet David-Schwartz

Analysis of the rain regime in the northern Negev 34

Shmuel Arbel, Moshe Getker, Itshack Moshe, Moti Shriki

The needs and requirements of Israeli Arab visitors to the Agamon Hula 42

Nirit Koren-Lawrence, Noga Collins-Kreiner

■ **A Forest of Books**

Cultivating forest trees and forests in Israel, a semi-arid country 51

Chanoch Zoref, Avi Perevolotsky

■ **Then and Now**

Long-term monitoring of thinning techniques (manual and mechanical) applied to post-fire pine seedlings 53

Kalil Adar

■ **Know Your Trees**

***Quercus boissieri* in Bet El** 55

Hagay Yavlovich

■ **English Abstracts** III



FOREST

Journal of Forests
and Open Lands
Management

Issue No. 25 | December 2023

