

סוגיות עיקריות בחקר היערות המחטניים של ישראל - סיכום ארבעים שנות מחקר (1972-2012)

חלק ב: הבנת התהליכים הטבעיים המתרחשים ביער
ומעבר לניהול היער כמערכת אקולוגית רב־תכליתית

יגיל אסם

המחלקה למשאבי טבע, מנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
yagil@agri.gov.il

בגיליון הקודם התפרסם חלקו הראשון של המאמר: סוגיות עיקריות בחקר
היערות המחטניים של ישראל - סיכום ארבעים שנות מחקר (1972-2012):
ההיסטוריה של מפעל הייעור ושייכותו לנוף בישראל.

תקציר

הסקירה מתמקדת בסוגיות עיקריות שעיצבו את תפיסת ניהול היערות הנטועים בישראל. החלק הראשון של הסקירה (חלק א) סיפק רקע על המניעים של מפעל הייעור בישראל, והתמקד בסוגיות מדעיות שהתעוררו לאורך הדרך בעת הניסיון לבסס יער מעשה ידי אדם בתנאי הארץ. חלק זה של הסקירה (חלק ב) מתמקד ביער כמערכת אקולוגית דינמית שמתרחשים בה תהליכים ספונטניים, כגון התחדשות טבעית, התפשטות עצי יער לשטחים שכנים והתפתחות חורש טבעי בשטחי היער. אורן ירושלים, המין העיקרי ביערות המחטניים, מתחדש באופן עצמי באזורים שכמות הגשם השנתית בהם גבוהה מ-400 מ"מ. האורן מותאם במיוחד להתחדשות אחרי שִׁפָּה, והוא גם מתפשט מהיער אל שטחים שכנים. מידת ההתחדשות של האורן קשה לחיזוי ותלויה במגוון גורמים, בהם גשם, מסלע, צמחייה מתחרה, ממשק יערני ורעייה. התחדשות חורש טבעי היא תהליך חשוב נוסף המתרחש בשטחי היערות המחטניים. מיני חורש, כגון אלון מצוי, נובטים ומתפתחים בצל האורנים כתלות בתנאי הסביבה, בצפיפות היער ובהפרעות. התנאים השוררים ביער מחטני מפותח מעודדים לרוב התבססות מוקדמת של מיני חורש, אולם בהמשך הם מאטים את התפתחותם. תהליכים ספונטניים של התחדשות והתפתחות מובילים להיווצרות יערות מגוונים ומורכבים בעלי מגוון ביולוגי אופייני משלהם. עיצוב היערות כפסיפס נופי הכולל מגוון מיני עצים ותצורות צומח, נתפס כיום כגישה מעשית לטיפול המגוון הביולוגי ביער. הידע הנוגע ליחסי הגומלין בין היערות המחטניים לבין סביבתם מתפתח גם הוא. מחקר ביער יתיר הצחיח למחצה (285 מ"מ גשם בשנה) מגלה כי היער משיב לאטמוספירה כמעט את כל מי הגשם המגיעים אליו, ומקבע פחמן אטמוספרי בכמות דומה לזו שביערות מחטניים באזורים ממוזגים. הידע המצטבר על האקולוגיה של היער מעצב בהדרגה תפיסות חדשות הנוגעות למטרות הייעור ולאופן ניהול היערות בישראל, ומוביל להתגבשותה של תורת ניהול יער עדכנית. תורת ניהול היער החדשה מפרטת את מטרות ניהול היער, ומתווה עקרונות והנחיות לניהולו על פי מטרות אלה.

מילות מפתח: אורן ירושלים · אלון מצוי · אקולוגיה של מערכות · התחדשות טבעית · מגוון ביולוגי · ניהול יער בריקיימא · תורת ניהול היער



מבוא

ניהול היערות הנטועים, ומובילות להתגבשותה של מדיניות ייעור עדכנית.

התחדשות טבעית ביערות הנטועים

התחדשות טבעית של עצי יער מוגדרת כתהליך ספונטני של התבססות פרטים צעירים בשטח היער. זו תופעה בולטת המתרחשת בשטחי יער רבים בישראל. חידוש עומדי יער שהגיעו לפרקם על בסיס התחדשות טבעית הוא נוהל מקובל ביערנות העולמית, והוא נחשב במקרים רבים כדרך טובה לביריה טבעית שתוביל להשבחה עצמית של עצי היער תוך שמירה על מגוון גנטי גבוה. שילר^[24] היה הראשון שייחס חשיבות לנושא זה ביערות האורן של ישראל. במחקרו, שנערך ביער משמר העמק, ביער הזרע וביער שער הגיא, הראה כי ליערות אורן ירושלים (*Pinus halepensis*) כושר התחדשות עצמית בתנאים השוררים בצפון הארץ ובמרכזה. המחקר הראה קשר חיובי בין דילול היער לבין

מאמר זה הוא חלקה השני של סקירה מדעית המסכמת סוגיות עיקריות שעיצבו לאורך השנים את תפיסת ניהול היערות המחטניים בישראל. החלק הקודם של הסקירה (חלק א) סיפק רקע על המניעים של מפעל הייעור בישראל והתמקד בסוגיות מדעיות שהתעוררו לאורך הדרך בעת הניסיון לבסס יער מעשה ידי אדם בתנאי הארץ. החלק הנוכחי של הסקירה (חלק ב) מתמקד בסוגיות הקשורות להבנת היערות הנטועים כמערכת אקולוגית דינמית. עם השנים גוברת המודעות הנוגעת לתהליכים של התפתחות, התחדשות ואף התפשטות של הצומח ביער. מצטבר ידע על הדינמיקה של התהליכים הללו, ומשתפרת ההבנה הנוגעת לגורמים המכתיבים אותם. מתקדמת גם ההבנה באשר לקשר שבין הדינמיקה של צומח היער לבין מבנה היער, המגוון הביולוגי המתקיים בו, ותפקוד היער כמערכת אקולוגית המקיימת יחסי גומלין עם סביבתה. התובנות המתפתחות בנושאים הללו מעצבות בהדרגה תפיסות חדשות באשר למטרות הייעור ולאופן

השֶׁרְפָה הגדולה שהתרחשה בכרמל בשנת 1989 הביאה אחריה גל של עבודות מחקר שעסקו בהתחדשות הצומח לאחר שֶׁרְפָה, ובעיקר בהתחדשות של אורן ירושלים. מהידע שנצבר במהלך העשור הראשון שלאחר השֶׁרְפָה בכרמל אפשר ללמוד כי השֶׁרְפָה יוצרת למעשה חלון הזדמנויות להתחדשות טבעית של אורן ירושלים^[34]. חלון ההזדמנויות הוא תוצאה של מספר תהליכים ותנאים המתקיימים מיד לאחר השֶׁרְפָה: מאגר זרעים גדול עקב פיזור נרחב של זרעים מיד לאחר השֶׁרְפָה מאצטרובלים אֶפִּיליים (serotinous) – אצטרובלים הנשארים סגורים במשך שנים רבות ונפתחים רק בתנאי שֶׁרְפָה), תחרות מופחתת עם צמחייה שכנה ותנאי קרקע היוצרים יתרון יחסי לאורן. עוד נמצא, כי לפעולות ממשק שונות הקשורות לטיפול בחומר השרוף הייתה השפעה מועטה על מידת ההתחדשות של האורנים, ואילו לדילול הזרעים המתחדשים הייתה השפעה חיובית ניכרת על התפתחות העצים הצעירים. עבודות המחקר שנעשו בכרמל, לצד שורה של מחקרים באגן הים התיכון וגם באזורים אחרים, גיבשו את ההכרה בדבר היותן של השֶׁרְפָה גורם חשוב באבולוציה של אורן ירושלים^[35]. המחקרים על התחדשות טבעית של אורן ירושלים לאחר השֶׁרְפָה בכרמל סללו את הדרך גם למחקרים בעלי אופי בסיסי יותר, חלק מהם פורצי דרך, בנושא הביולוגיה והאקולוגיה של אורן ירושלים כמין המפיץ את זרעיו ברוח^[33]. בסקירה מדעית שסיכמה את הידע הנוגע לדפוסי הפצת הזרעים ולהתחדשות של אורן ירושלים לאחר שֶׁרְפָה ובלעדיה, נקבע כי בעוד יכולת החיזוי של דגם ההתחדשות לאחר שֶׁרְפָה היא גבוהה יחסית, דגם ההתחדשות במרחב ובזמן בהיעדר שֶׁרְפָה הוא מורכב וקשה לחיזוי^[32]. **חקר ההתחדשות הטבעית של אורן ירושלים לאחר שֶׁרְפָה חידד את**



התפתחות אלונים בתת־היער המחטני - אלון התבור ביער של אורן ברוטיה בהר חורשן | צילום: יגיל אסם

מידת ההתחדשות הטבעית, והצביע על התחדשות טובה יותר על מִסְלַע קרבונטי רך (קירטון וקירטון חווארי) בהשוואה למסלע קשה (גיר ודולומיט). שילר הראה גם את חשיבותן הרבה של טריפת זרעים על־ידי בעלי חיים ושל תחרות עם צומח עשבוני חד־שנתי כגורמים אקולוגיים המגבילים התחדשות טבעית. הרעיון של חידוש יערות אורן על בסיס התחדשות טבעית לא זכה לתשומת לב רבה בקרב מנהלי היער במשך שנים רבות. רק בתחילת שנות ה־2000 הוא בא לידי ביטוי במסמך עמדה בנושא: "מדיניות פיתוח בר־קיימא היום ולדורות הבאים"^[20], שאומץ על־ידי דירקטוריון קק"ל. המסמך עוסק במדיניות ניהול היערות על־ידי קק"ל, וקובע מספר עקרונות ליישום, ובהם "התבססות רבה ככל שניתן על החידוש הטבעי של עצים... הפחתת ההתערבות של יערנים בשטח". מסמך זה סלל את הדרך למספר מחקרים שעסקו בבחינת הפוטנציאל להתחדשות טבעית של יערות אורן ירושלים באזורים שונים בארץ. מחקר שנערך ביער יתיר, אזור צחיח למחצה, הראה כי באזור זה כמות הגשם (285 מ"מ לשנה בממוצע) היא גורם מגביל, ואין בו התחדשות טבעית משמעותית של היער^[12]. מחקר נוסף שנערך ביער שחריה ליד קרית גת (400 מ"מ לשנה בממוצע), הראה כי באזור זה יש התחדשות טבעית רק בשנים גשומות יחסית, והצביע על התחרות עם צומח עשבוני בתת־היער כגורם העיקרי המגביל את ההתחדשות הטבעית של האורנים^[11]. על בסיס מחקר כלל־ארצי שבחן התחדשות טבעית ביערות אורן בוגרים לאורך מפל הגשם של ישראל, נקבע כי קו הגשם של 400 מ"מ גשם לשנה מציין את הגבול הדרומי להתחדשות טבעית של אורן ירושלים בישראל. עם זאת הראה המחקר כי מעל כמות גשם זו לא ניתן לחזות במידה טובה את מידת ההתחדשות על פי כמות הגשם^[40], והיא עשויה להשתנות במידה ניכרת כתלות בגורמים שונים כגון מסלע וקרקע, צפיפות היער, רעייה ועוד. אפשר ללמוד מהמחקרים הללו כי חידוש יערות אורן ירושלים על בסיס התחדשות טבעית אפשרי ברוב החלקים הים התיכוני של ישראל. עם זאת, מידת ההתחדשות משתנה משמעותית בין מקום למקום כתלות במאפיינים אקולוגיים שונים.

בעתיד יש לפתח נוהל של סקרים מקדימים לבחינת פוטנציאל ההתחדשות הטבעית של יערות נטועים. על פי סקרים אלה יהיה אפשר לקבוע את הממשק הראוי לעידוד או לוויסות של מידת ההתחדשות. כמו כן, יש לעודד את המחקר בנושא התחדשות טבעית של מיני יער חשובים נוספים, כגון אורן ברוטיה (*Pinus brutia*) וברוש מצוי (*Cupressus sempervirens*).

התחדשות טבעית לאחר שֶׁרְפָה

ההתחדשות הטבעית של יערות אורן ירושלים לאחר שֶׁרְפָה זכתה להתייחסות כבר לפני כ־40 שנה מצד קרשון^[21], שעקב אחר ההתחדשות הטבעית לאחר שֶׁרְפָה ביער בלפור שניטע ב־1928.

התובנה באשר לאי-הצורך בהתערבות כדוגמת נטיעות, למטרת שיקום היער לאחר שרפה. עם זאת, גברה גם ההבנה לגבי הצורך בהתערבות באמצעות דילול זריעי האורן, שתוביל להתפתחות טובה יותר של היער המתחדש לאחר השרפה [18]. עוד נלמד כי לאחר שרפות חוזרות, בטרם הספיקו עצי האורן הצעירים להעמיד בנק זרעים גדול דיו באצטרובלים, קיימת מגבלה להתחדשות הטבעית, שעלולה לסכן את המשך קיום היער המחטני.

בין כמות זריעי האורן שנבטו והתבססו בשטח הפתוח לבין הקרבה ליער הנטוע, וגם השפעה של כיווני הרוחות. כלומר, קיימת מעין "חזית התקדמות" של אורנים צעירים בטווח של עשרות מטרים מגבול היער. נוסף על כך, נצפתה גם התבססות של עצי אורן בודדים בטווחים ארוכים בהרבה, שם הם משמשים מוקדי הפצה לזרעים חדשים. גם במחקר נוסף שנערך בגריגה ים תיכונית בדרום הכרמל (פארק רמת הנדיב), נמצא קשר הדוק בין צפיפות האורנים המתנחלים לבין הקרבה לעצי אורן בוגרים, הפזורים בשטח בטווח של כ-300 מטר [37] ומשמשים מקור לזרעים. המחקר הצביע גם על רעיית בקר כגורם המעודד התנחלות אורנים, ועל כיסוי הצומח בגריגה כגורם המצמצם את התפשטות האורנים. במחקר נוסף, שהתבסס על סקר נרחב בבתי גידול ים תיכוניים בישראל, תועדה התנחלות אורנים ב-73% מאתרי המדגם. מחקר זה תמך בממצאי קודמו בדבר היותה של הרעייה גורם המעודד התנחלות אורנים, וכן גרס כי כיסוי צומח מעוצה ברמה בינונית הוא שיוצר תנאים מיטיבים להתנחלות [45]. לטענה זו נמצאה תמיכה גם במחקר אחר, שהראה זיקה מרחבית בין זריעי אורנים מתנחלים לבין שיחי סירה קוצנית [10] (עוד על המחקר בעמ' 312-320 בגיליון זה). הוצע כי לנגד עינינו נוצרת "מערכת אקולוגית חדשה" (novel ecosystem) של יערות אורן ואלון [45]. מנגד, אפשר לטעון כי מדובר בחזרתה של מערכת אקולוגית ישנה שנעלמה מישראל לפני מאות ואולי אלפי שנים. תופעת התפשטות האורנים מן היער הנטוע אל תוך שטחי צומח טבעי נתפסת על-ידי חלק מגורמי שמירת הטבע וניהול השטחים הפתוחים כפלישה וכאיום ממשי על המערכות הטבעיות בישראל [7]. לעומת זאת, אפשר לראות את התפשטות האורנים כאחד מתוך מגוון תהליכים דינמיים מושפעי אדם, שמתקיימים בצומח "הטבעי למחצה" ותורמים למורכבות ולגיוון של הנוף בישראל [29].

התחדשות חורש טבעי בתת-היער הנטוע

בד בבד עם התפשטות האורנים אל החורש מתרחשת תופעה שאינה נופלת בחשיבותה, והיא התחדשות צומח החורש בצל יערות האורן הנטועים. באמצע שנות ה-70 של המאה ה-20 נערך במעבדתו של גדעון אורשן, מחברי הוועדה המקצועית שעסקה בהתמוטטות יער שער הגיא, מחקר שבחן נביטה והתבססות של אלון מצוי (*Quercus caliprinos*) ביערות אורן נטועים בהרי יהודה [8]. המחקר הראה כי התנאים השוררים בצל יערות האורן, מעודדים התבססות של זריעי אלון מצוי יותר מאשר בשטחים חשופים ללא עצים וגם יותר מאשר בחורש צפוף. מחקר זה הציג לראשונה בישראל תוצאות הסותרות את תפיסת "מדבריות האורן" שהייתה מבוססת בקרב קהילת שומרי הטבע בישראל. לפי תפיסה זו, בצל האורנים ביערות הנטועים אין התפתחות של צמחייה. עם זאת, הנושא נזנח ולא זכה להתייחסות מדעית

על קצה המזלג

- * התובנות המתפתחות בעקבות מחקרים מעצבות בהדרגה תפיסות חדשות באשר למטרות הייעור ולאופן ניהול היערות הנטועים, ומובילות לגיבוש מדיניות ייעור עדכנית.
- * התגבשה ההכרה כי שרפות הן גורם חשוב באבולוציה של אורן ירושלים, וכי יכולת ההתחדשות הטבעית של אורן ירושלים מייצרת את הצורך בהתערבות, כדוגמת נטיעות, לצורך שיקום היער לאחר שרפה.
- * עיצוב היער כפסיפס נופי, הכולל מגוון מיני עצים ותצורות צומח, נחשב כיום כדרך ראויה לטיפול המגוון הביולוגי ביערות הנטועים.
- * השינוי הגדול במדיניות הנטיעות ובאופן הטיפול ביער הפחית משמעותית את כמות הנטיעות של עצי מחט, ואת מקומם תפסו מגוון מינים מקומיים של עצים רחבי עלים.

המערכת

התפשטות אורנים לבתי גידול טבעיים

בתחילת שנות ה-2000 הבחינו חוקרים שונים בתופעה סביבתית חדשה: התפשטות של עצי אורן ירושלים מיערות נטועים לבתי גידול טבעיים שכנים והתנחלות שלהם שם. המחקר הראשון בנושא זה בארץ, שנערך בדרום שפלת יהודה (גבעות גד), בהרי יהודה (הר הטייסים) ובגליל התחתון (יער הסוללים), הראה שיערות אורן בני למעלה מעשרים שנים מפיצים כמות משמעותית של זרעים אל תוך שטחים פתוחים הגובלים ביער [30]. המחקר הראה קשר חזק

של אלון מצוי בתת-היער. תצפית נוספת שתועדה במסגרת מחקר אקולוגי ארוך טווח הנערך ביער הקדושים שבהרי ירושלים הראתה כי בתת-היער הנטוע שגילו 44 שנים, יש כ-40 אלונים לדונם, בעוד שבשטח צמוד שלא ניטע, לא נמצא ולו זריע אלון אחד [2]. התחדשות החורש בתת-היער המחטני יוצרת הזדמנות ליצירת יערות מורכבים - רב-מיניים ורב-שכבתיים [40].

המגוון הביולוגי ביערות הנטועים

יערות האורן הנטועים נתפסו לאורך השנים כבית גידול בעל מגוון ביולוגי נמוך, אולם טיפול מדעי בנושא זה החל רק בשנות ה-2000. במחקר שבחן את המגוון של מספר קבוצות טקסונומיות ביערות אורן באזור שפלת יהודה, נמצא כי עושר המינים של חיפושיות, עכבישים וצמחים נמוך ביער ב-30%, 27% ו-20% בהתאמה בהשוואה לחורש טבעי [14]. עוד נמצא, כי הרכב המינים ביער שונה מזה הקיים בחורש (לדוגמה: רק 50% דמיון בהרכב מיני החיפושיות). מחקר אחר שעסק בחיפושיות ספּרוֹקְסיליות (saproxylic - הניזונות מעץ מת) הראה הבדלים ברורים בהרכב מיני החיפושיות בין יערות אורן לבין חורש של אלון מצוי [27]. במחקר שעסק בנמלים נמצא כי הרכב מיני הנמלים המקננות ביער שונה מזה שבבתה סמוכה, וכי בקווי חיץ לאש ביער מקננות נמלים בהרכב מינים הדומה יותר לזה שבבתה מאשר לזה שבשטח הנטוע [31]. במחקר שבחן את מגוון הצומח ביערות אורן צחיחים למחצה בצפון הנגב (יער יתיר) ובדרום השפלה (יער אמציה), נמצא כי בשטח היער מתקיים מגוון גבוה של מיני צמחים (לדוגמה: 263 מינים ביער יתיר) [17]. צפיפות היער לא השפיעה על מגוון הצומח, אולם נמצא כי מגוון המינים היה גבוה יותר במפנים צפוניים ובמדרונות מתונים, והושפע חיובית מכמות המשקעים ומאחוז החרסית בקרקע. במחקר אחר, שבחן את מגוון מיני הצומח ביער אורן באזור ים תיכוני בהרי ירושלים (יער הקדושים), נמצאו מעל 300 מיני צמחים בשטח היער [2]. המחקר הראה כי מגוון מיני הצמחים ביער בוגר צפוף נמוך בכ-50% בהשוואה לשטח סמוך שלא ניטע: כ-80 מינים ל-400 מ"ר בהשוואה לכ-160 מינים ל-400 מ"ר בהתאמה. עם זאת, נמצא כי דילול היער גרם עלייה מהירה בעושר המינים, וכי חלקות שעברו כריתה מלאה השתוו בעושר המינים שלהן לשטח הבלתי מיוער תוך שנתיים מהדילול. במחקר שבחן את השפעת היערות הנטועים על הרכב מיני ציפורים בצפון הנגב, נמצא כי הרכב מיני הציפורים המקננות ביער שונה מזה שבשטחי הבתה [46]. עוד נמצא כי הרכב מיני הציפורים משתנה כתלות במיני העצים הנטועים ובגילם. מחקר אחר הראה שדפוס הקינון של עקב עיטי (*Buteo rufinus*) משתנים בעקבות היעלמותם של שטחי בתה - תופעה המושפעת גם מניטעת היערות [28]. הידע המצטבר על המגוון הביולוגי ביערות האורן מלמד כי ליער מגוון אופייני משלו, המושפע משורה של גורמי



התחדשות טבעית ביערות אורן - אורן ירושלים ביער שחריה | צילום: יגיל אסם

ראויה במשך שנים רבות. בדומה למה שתואר לגבי המחקר על התחדשות טבעית של היערות המחטניים, גם כאן אפשר לסמן את מסמך המדיניות לפיתוח בר-קיימא, שאימץ דירקטוריון קק"ל [20], כנקודת מפנה חשובה. המסמך, שקרא להתבססות ככל הניתן על התחדשות טבעית של עצים ועל יצירת יערות רב-מיניים ורב-שכבתיים, חידש את ההתעניינות בצמחיית תת-היער המחטני הנטוע. מחקר שנערך ביער אורן ירושלים שבשפלת יהודה (יער צרעה), הראה כי ההתבססות הראשונית של זריעי אלון מצוי טובה יותר בצל עצי האורן מאשר בקרחות יער [23]. עם זאת, ההישרדות וההתפתחות של אלונים שעברו את שלב ההתבססות הראשונית, הייתה טובה יותר בקרחת היער ותחת הצללה בינונית מאשר ביער הצפוף. מחקר דומה על אלון התבור (*Quercus ithaburensis*) שנערך ביער אורן ברוטיה (יער מצר), הראה אף הוא ירידה משמעותית בקצב ההתפתחות של זריעי אלון התבור עם העלייה במידת הצללה בתת-היער [19]. עם זאת המחקר כי זריעי אלון התבור יכולים להתבסס ולשרוד במשך שנים (מעל עשר שנים) בתת-היער הצפוף ולהגיב בצמיחה נמרצת עם השחרור מהצללה. סקר מקיף שנערך ביערות אורן ירושלים בוגרים הפזורים לאורך מפל הגשם בישראל, הראה כי ביערות האורן מתקיים תתי-יער מעוצה מפותח ומגוון. המחקר הראה קשר חיובי הדוק בין כמות הגשם לבין מידת ההתפתחות והמגוון של תת-היער המעוצה עד כדי כיסוי צומח מלא (100%), עושר של מעל 20 מינים מעוצים ל-200 מ"ר וצפיפות של עד כ-200 אלונים לדונם [39, 40]. בסקר נרחב שנערך ביערות אורן נטועים, נצפתה התחדשות טבעית של אלון מצוי ב-82% מהאתרים שנדגמו [45]. המחקר הראה קשר חיובי בין הקרבה אל מקורות זרעים (עצי אלון בוגרים), פתיחת היער ועלייה בגיל היער לבין מידת ההתחדשות



התפשטות אורנים לשטחי צומח טבעי - אורן ירושלים בבתה של סידה קוצנית ביער שחריה | צילום: יגיל אסם

מאזן הקרינה ועל שטף החום גורמת דווקא לאפקט של חימום מקומי, וכי נדרשת תקופת זמן של כ-50 שנה כדי לאזן בין "אפקט הצינון" של היער עקב קיבוע הפחמן לבין "אפקט החימום" של היער עקב ספיגת קרינה. המחקר ביער יתיר תרם גם מידע חשוב באשר לחלוקת משאב המים ביער הצחיח למחצה. נמצא כי בשנה ממוצעת חוזרת אל האטמוספירה כ-95% מכמות הגשם היורד ביער כתוצאה מאידוי-דיות (אדי מים המוחזרים לאוויר משטח נתון - evapotranspiration). בשנים יבשות שיעור החזרת המים לאטמוספירה גדול אף יותר, ועשוי להגיע ל-100%. כ-10% ממי הגשם נעצרים בצמרות העצים ואינם מגיעים כלל לפני קרקע, 50% נקלטים על-ידי העצים ומשתחררים לאטמוספירה בתהליך הדיות (אידוי מים הזורמים בגוף הצמח - transpiration) ו-40% נוספים מושבים לאטמוספירה ישירות מהקרקע (התאדות - evaporation) או על-ידי צומח תת-היער (דיות) [48, 43, 42]. חלוקת המים בין רכיבי מערכת היער משתנה כתלות בצפיפות היער, בכמות הגשם ובפיזורו לאורך העונה. למשל, בשנים עם פיזור גשם מקובץ (אירועי גשם מועטים וגדולים) מנצלים עצי היער חלק גדול יותר מכמות הגשם הכוללת מאשר בשנים עם פיזור אחיד (אירועי גשם רבים וקטנים). לבסוף, נקבע כי כמות הגשם האופיינית לאזור יתיר לא תוכל לתמוך ביער בעל כיסוי צמרות העולה על 65% [43], וכי צפיפות העצים המומלצת ליער בוגר באזור זה עומדת על 19-25 עצים לדונם לכל היותר [48].

מיזם יתיר מסמן את הדרך לחקר היער כמערכת אקולוגית שלמה. האתגרים העיקריים העומדים לפתחנו הם הרחבת המחקר בגישה זו ליערות ולשטחי צומח טבעי בעלי מבנה מורכב - רב-מיני ורב-שכבתי - הנפוצים באזורים הלחים יותר של הארץ, וכן הטיפול בשאלות הקשורות להשפעת ממשק היער על התהליכים השונים של המערכת האקולוגית.

סביבה לצד גורמים יערניים, כגון צפיפות היער, הרכב מיני העצים וגיל היער. ניהול היער על פי הקריטריון של מגוון ביולוגי הוא נושא מורכב, ואף שנוי במחלוקת. עם זאת, קיימת כיום הסכמה רחבה לגבי חשיבות השימור והטיפוח של המגוון הביולוגי הייחודי לישראל בשטחי היער. **עיצוב היער כפסיפס נופי, הכולל מגוון מיני עצים ותצורות צומח - לרבות יער דליל, קרחות יער ושטחי גריגה ובתה - נתפס כיום כדרך ראויה לטיפוח המגוון הביולוגי ביערות הנטועים.** לימוד פרטני של הביולוגיה של מינים או של קבוצות מינים ושל יחסי הגומלין שלהם עם צומח היער יסייע בעתיד בפיתוח שיטות ממשק יערניות לטיפוח המגוון הביולוגי ביער ולשימורו.

צריכת מים, קיבוע פחמן וויסות אקלים על-ידי היער הנטוע - מיזם יער יתיר

בשנת 2000 החל ביער יתיר, יער אורן ירושלים בצפון הנגב (285 מ"מ גשם בשנה בממוצע), מחקר ארוך טווח לבחינת ההשפעה של היער המחטני על המאזן הביוספרי של פחמן, מים ואנרגיה. המחקר ביער יתיר הוא חלק מרשת כלל-אירופית לחקר הנושא, והיער הוא נקודת קיצון צחיחה במערך זה. תוצאות המחקר מלמדות על ייחודו של היער הצחיח למחצה כמערכת שמקבעת פחמן בשיעורים גבוהים יחסית - קיבוע פחמן נטו (Net Ecosystem Exchange - NEE) של 2.3 טונות פחמן להקטר בשנה בהשוואה ל-2 טונות להקטר בשנה בממוצע ביערות מחטניים באירופה ול-2.6 טונות להקטר בשנה בממוצע כלל-עולמי של יערות מחטניים [44]. מאזן הפחמן החיובי הגבוה יחסית של היער הצחיח למחצה נזקף לזכות תנאי היובש הייחודיים, המפחיתים שחרור פחמן לאטמוספירה עקב נשימת קרקע (פירוק חומר אורגני בקרקע). עם זאת, המחקר הראה גם כי השפעת היער על

מדיניות הייעור וניהול היער

התהליכים השונים המתרחשים ביערות הנטועים מלווים לאורך השנים בשינויים ובהתאמות החלים במדיניות הייעור ובניהול היער. מחקר שעקב אחר התפתחות מדיניות הייעור בישראל במהלך המאה ה-20 קבע כי מראשית מפעל הייעור בשנות ה-20 ועד שנות ה-70 של המאה הקודמת היו המטרות, שעמדו בבסיס מדיניות הייעור, חברתיות ופוליטיות במהותן: א. הגנה על קרקעות הלאום; ב. ייצור תעסוקה; ג. הפרחת השממה לעידוד התיישבות. תפוקת עץ ונופש נחשבו מטרות משניות [26]. מדין שנערך בכנס אגודת המנדסי היער אפשר ללמוד שהגישה של ניהול היערות המחטניים בארץ התבססה באותה עת על עקרונות לניהול יערות מסחריים, שפותחו במרכז אירופה [13]. בדיונים שימשו מושגי מפתח יערניים כגון "איכות בית גידול", "מחזוריות דילול", "טבלאות יבול" ו-"כריתה סופית". מהדיון ניתן ללמוד על ממשק היערות המחטניים המומלץ באותן שנים: נטיעה צפופה (מאות עצים לדונם); ביצוע דילולים במחזוריות של 7 שנים (שישה דילולים עד גיל 46); כריתה סופית בגיל 60-70 שנה. ניתן גם ללמוד שהיו חילוקי דעות באשר למשטר הדילולים המתאים ליערות הארץ הגדלים בתנאים קשים. כמו כן, מסתבר שהיה קושי רב לעמוד במשטר הדילולים המומלץ, בעיקר מסיבות הקשורות לכושר ההחזר הכספי הנמוך של היער, ונוצר פער גדול בין כמות הדילולים הרצויה לביצועה בפועל. אולם, כפי שעולה מן הדיון, התקווה להפקת רווח כלכלי מן היער טרם נזנחה, ועם זאת הייתה גם הכרה בחשיבות היער לנופש. משטר דילולים אינטנסיבי השומר על עצים בריאים ועל כיסוי צמרות גבוה ("יער סגור") נתפס כנוכח הן בהיבט של הפקת עץ מרבית מן היער הן בהיבט של יער לנופש (צל מרבי) [25]. לימים הופרכה התקווה להפקת רווח כלכלי מעצת היער בישראל [47]. לעומת זאת, הוכח ערכם הכללי הגבוה של יערות הארץ בהענקת שירותי נופש [6, 46]. בהתאם למטרות ההיסטוריות של מפעל הייעור ולמגבלות הסביבתיות והכלכליות התאפיינה מדיניות הייעור בגישה אחידה ופשוטה: הקמת יערות חד-מיניים וחד-גיליים תוך שימוש במספר מינים מצומצם, שניחנו בכושר התבססות גבוה בבתי גידול שוליים, בעמידות ליושב ובצמיחה מהירה. מין העץ המוביל, שעונה על כל הדרישות הללו, היה אורן ירושלים. אולם התמוטטות יער שער הגיא העלתה בפעם הראשונה על סדר היום את רגישותם של יערות אורן ירושלים מתבגרים. בדו"ח ועדת יער שער הגיא המליץ הצוות לשנות את הגישה ולטעת בעתיד מינים אחרים של אורן ועצי מחט אחרים. זו הייתה הפעם הראשונה שהמלצה התייחסה לצורך בגיוון היער, אם כי הדגש הוא עדיין על שימוש במינים "מוצלחים", המתאימים למדיניות הייעור הישנה ולבית הגידול, ולא בהכרח להעלאת המגוון ביער. נאווה וכן עזרא הציגו גישה אחרת – שונה לחלוטין וחדשנית – למדיניות הייעור הראויה לישראל [15, 16]. הם

ראו בייעור כלי לשיקום הנוף הים תיכוני ההררי לאחר "שהושחת" על-ידי האדם והתנוון. הם קראו לייסוד תכנית-אב כוללת לשימור הנוף הים תיכוני ולטיפוחו באמצעות "ייעור רב-תכליתי סביבתי", שימלא פונקציות ביולוגיות-אקולוגיות (שימור מים וקרקע, טיהור אוויר ומגוון ביולוגי), פונקציות חברתיות-אקולוגיות (נוף ונופש) ופונקציות כלכליות (מרעה וצמחי תבלין). במסגרת זו הוצע לעשות שימוש במגוון מיני צמחים, לרבות שיחים ומינים עשבוניים.

Noy-Meir [36] הציג נקודת מבט אקולוגית על היערות המחטניים הנוטעים, וסיכם את התובנה שהיערות המחטניים הצפופים הם מערכת אקולוגית חד-גונית רגישה ופגיעה. הוא הציע לדלל את היער כדי לאפשר התחדשות טבעית של האורנים והתפתחות מקבילה של עצי חורש טבעי ליצירת יער מגוון יותר. התובנות והביקורת הציבורית המתמשכת באשר לשיטת הנטיעות ולאופי היערות הנוטעים היו הבסיס למהפכה של ממש במדיניות הנטיעות והטיפול ביער. במסגרת זו הופחתה במידה משמעותית הנטיעה של עצי מחט, ואת מקומם תפסו מגוון מינים מקומיים של עצים רחבי עלים. גם צפיפות הנטיעות ותדירות הדילולים הופחתו [22].

נקודת הציון הבאה בהתפתחות של מדיניות הייעור וניהול היער הנוטע בישראל הייתה מסמך מועצת המנהלים של קק"ל [20] – "מדיניות פיתוח בר-קיימא היום לדורות הבאים", שהציב את הבסיס העקרוני לניהול בר-קיימא של היערות הנוטעים בישראל. האתגר שהציב מסמך זה גרר אחריו שורה של פרסומים שהתמודדו עם ההגדרה ועם אופן היישום של ממשק יער בר-קיימא בישראל [3, 4, 9, 38, 41]. ראוי לציון בהקשר זה דו"ח שהציג לראשונה בישראל גישה מובנית והמלצות ממשקיות לניהול יערות אורן כמערכת מגוונת ומורכבת [5].

"תורת ניהול היער בישראל" [1], מסמך שאימצה באחרונה מועצת המנהלים של קק"ל, מסכם את תהליך ההגדרה וניסוח העקרונות לניהול יער בר-קיימא בישראל. התורה החדשה מציבה בסיס מעשי לניהול יער מכוון מטרה ובר-קיימא. בבסיס המסמך הגדרה מעודכנת של מטרות ניהול היער בישראל: מתן מגוון שירותי מערכת אקולוגית (ecosystem services) לציבור בישראל, כולל הזדמנויות נופש, גיוון הנוף, תמיכה במגוון הביולוגי המקומי, ותועלת כלכלית לקהילה, הגנה על משאבי קרקע ומים, שמירה על שטחים פתוחים, שיקום בתי גידול הרוסים, הגנה על עצי ארץ ישראל והשבתם לטבע ויצירת אזורי חיץ למניעת מפגעים סביבתיים ונופיים. בהמשך המסמך מפורטת מתווה יישומי לתכנון ולניהול רב-תכליתי של היער על-ידי הגדרת ייעודים פרטניים לשטחי יער שונים וקביעה בהתאם של תצורת הצומח הרצויה ("יער היעד") ושל תכנית הממשק בכל יחידת שטח. המסמך מגדיר שורה של עקרונות לניהול יער בר-קיימא,

מערכת אקולוגית והקשר בין מבנה היער לתפקוד היער בתנאי סביבה שונים הם תנאי לניהול בר-קיימא של היער באשר הוא. כדי להשיג ידע והבנה כאלה יש לפתח ולאמץ גישות חדשות לחקר מערכות מורכבות. עם זאת, לא ניתן יהיה להגיע להבנה טובה של היער בישראל בלי להשלים פערי ידע בסיסיים, בעיקר בכל הנוגע לביולוגיה של מיני העצים ביער.

סיכום

יערות האורן הנטועים בישראל הם מערכת אקולוגית מעשה ידי אדם. תחילתם במפעל אנושי שנעשה על פי שילוב מיוחד של צרכים חברתיים ופוליטיים ואילוצים כלכליים, שאפיינו את תקופת קום המדינה. המשכם במציאות משתנה, המעלה עוד ועוד שאלות הנוגעות למטרות היער ולאופן ניהולו הראוי. מפעל הייעור בתחילת דרכו נשען בעיקר על ידע שפותח במרכז אירופה ובמזרח. עם השנים נרכשים בישראל ידע מדעי וניסיון מקצועי ייחודיים, המהווים בסיס לניהול רב-תכליתי של יערות בסביבה מוגבלת מים. הידע הנרכש משפיע על הגדרת מטרות הייעור, על שיטות התכנון והממשק וגם על היחס של בעלי עניין שונים ליערות הנטועים בישראל.

היערות הנטועים הם חלק בלתי נפרד מנוף הארץ וממורשתה. מפעל הייעור שינה את פני הארץ כפי ששינו את פניה תהליכים היסטוריים אחרים בעבר. תהליכי ההתפתחות וההתבגרות של היערות הנטועים, לרבות התחדשות טבעית והתפתחות של צמחייה מגוונת בתת-היער, וההתפשטות של עצי יער אל מחוץ לשטחים הנטועים – יוצרים נוף דינמי מגוון ומורכב, שיכול לספק מגוון רחב של שירותי מערכת אקולוגית. עם זאת, קיימות עדיין מחלוקות לא מעטות הנוגעות לאופן הניהול הראוי של השטחים המיוערים בארץ, ויותר מכך לייעור שטחים חדשים שחלק גדול מהם ממוקם על גבול המדבר. מחלוקות אלה מתבטאות בביקורת מתמשכת, לעתים חריפה, שמפנים בעלי עניין שונים כלפי העוסקים במלאכת הייעור. קק"ל, האחראית מטעם המדינה על היערות, נדרשת להגדיר באופן ברור את מטרות ניהול היער בכל יחידת שטח. תכנון היער, עיצובו והטיפול בו צריכים להיעשות בהתאם למטרות וליעדים שהוגדרו. במערכת השיקולים יש לכלול גם את ההימנעות מהתערבות כדרך פעולה אפשרית, שעשויה להשיג תוצאות רצויות. התורה החדשה של ניהול היער, שאומצה באחרונה על-ידי קק"ל, מציעה שורה של עקרונות יישומיים והנחיות למימוש מיטבי של גישה זו.

תודות

ברצוני להודות לפרופ' גבי שילר, לפרופ' אבי פרבולוצקי, לפרופ' צביקה מנדל, לפרופ' גידי נאמן ולארנון קופר על קריאה ביקורתית של המאמר בגלגוליו השונים ועל מתן הערות חשובות ומועילות.



התפתחות צומח טבעי בתת-היער מחטני - אשחר רחב עלים ביער אורן ברוטיה ברמת מנשה | צילום: יגיל אסם

ובהם העיקרון של ממשק מסתגל (ממשק מכוון מטרה מלווה בניטור מתמשך הבוחן את מידת ההצלחה של פעולות הממשק), שאיפה להתערבות מזערית ולהישענות על תהליכים טבעיים והחתיירה למגוון ולמורכבות. המסמך מפרט גם את כלי הממשק השונים העומדים לרשות היערן, ומסביר את עקרונות השימוש בהם.

המחקר היערי לאן?

שינויים החלים בתפיסת ניהול יערות בארץ ובעולם ניזונים מהתפתחות המחקר היערי וגם מעצבים אותו. המחקר היערי ברחבי העולם עסק לרוב בשני תחומים עיקריים: א. שיפור כמות תוצרת העץ ביער ואיכותה; ב. שמירה על משאבי הטבע ביער – מגוון ביולוגי, קרקע ומים. הגישה של ניהול יער בר-קיימא, שאומצה בתחילת שנות ה-90 במקומות רבים בעולם, הציבה לפתחו של המחקר היערי את הצורך לפתח את התועלת הכלכלית תוך שמירה על משאבי הטבע. בתוך כך התרחבה ההתבוננות על היער הן בהיבט התועלת לאדם – הרבה מעבר להפקת תוצרת עץ בעלת ערך מסחרי, הן בהיבט השמירה על הסביבה ועל משאבי הטבע מעבר לגבולות הפיזיים של היער. ההגדרה של ניהול יער בר-קיימא ופיתוח הכלים למימוש גישה זו נמצאים עדיין בראשית דרכם. באחרונה הולך ומתפתח תחום מחקר חדש – 'אקולוגיה של מערכות אקולוגיות' (ecosystem ecology) – שהנגזרת היישומית שלו היא 'ממשק מבוסס מערכת אקולוגית' (ecosystem based management). בקיצור נמרץ אפשר להגדיר את האקולוגיה של מערכות אקולוגיות כתחום העוסק בקשר שבין מבנה המערכת האקולוגית לבין התפקוד שלה, כאשר עצם ההגדרה של המבנה ושל תפקוד המערכת היא סוגיה מדעית בפני עצמה. הבנת היער



מקורות

[1] אסם י, ברנד ד, טאבור י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2012. תורת ניהול היער בישראל - מדיניות והנחיות לתכנון ולממשק היער. קק"ל.

[2] אסם י, זנגי א, כלב א ואחרים. 2012. טיפולי דילול ביער אורן ירושלים בוגר והשפעתם על חיוניות עצי היער, התחדשות טבעית ומגוון ביולוגי. תוצאות ראשונות מאתר מחקר אקולוגי ארוך טווח (LTER) ביער הקדושים. הרצאה ביום העיון השנתי של מחקרי מפ"ק קק"ל; מאי 2012; מנהל המחקר החקלאי בבית דגן.

[3] אסם י, מנדל צ, נאמן ג ואחרים. 2011. היער המחטני הנטוע באזור הים תיכוני בישראל: דיון בעקרונות הממשק. נייר עמדה של מדעני יער בישראל. אקולוגיה וסביבה 1(2): 68-70.

[4] אסם י, עצמון ו פרבולוצקי א. 2005. "ממשק יער בר-קיימא" מהו? סקירה. יער 7: 3-9.

[5] אשכנזי ש. 2004. ממשק הצומח המעוצה של הכרמל בדגש על ממשק יערות אורן ירושלים *Pinus halepensis* Mill. הקרן הקיימת לישראל, רשות הטבע והגנים.

[6] בקר נ וחורש י. 2007. הערכה כלכלית של נופש בחיק הטבע: אומדן ערכו של יער ברייה בשיטת עלות הנסיעה (TCM). יער 9: 33-39.

[7] ברק ג, גינזבורג א, ופרבולוצקי א. 2012. התכנית הלאומית לניטור מצב הטבע והמגוון הביולוגי בשטחים פתוחים בישראל. אקולוגיה וסביבה 3(3): 256-262.

[8] גולדרינגי י. 1977. התחדשות הצומח הטבעי ביערות אורן נטועים (עבודת גמר לתואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[9] גינסברג פ. 2003. ייעור אקולוגי ככלי לפיתוח נוף בר-קיימא באזורים צחיחים וים תיכוניים בישראל. יער 3: 2-7.

[10] וייץ י. 2013. דינאמיקת התפשטות אורנים מהיער הנטוע לשטחים פתוחים והשלכות על נוף הצומח בישראל (עבודת גמר לתואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[11] זכריה נ. 2011. התחדשות טבעית של יער אורן ירושלים בתנאים צחיחים למחצה (עבודת גמר לתואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[12] יבלוביץ ח. 2008. התחדשות טבעית של יערות אורן ירושלים באזורים צחיחים למחצה (יער יתיר) (עבודת גמר לתואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[13] כנס אגודת מהנדסי היער. 1974. ניהול יערות האורן (מתוך דיון בכנס אגודת מהנדסי היער). ליערן 1-2: 16-18.

[14] לבנוני ט. 2005. מגוון המינים ביערות אורנים נטועים בהשוואה לחורש טבעי בשפלת יהודה (עבודת גמר לתואר מוסמך). תל-אביב: אוניברסיטת תל-אביב.

[15] נאוה ז ובן-עזרא ש. 1976. שיקום הנוף היס-תיכוני-הררי ע"י ייעור רב תכליתי סיביתי. ליערן 26: 29-32.

[16] נאוה ז ובן-עזרא, ש. 1977. שיקום הנוף היס-תיכוני-הררי ע"י ייעור רב תכליתי סיביתי. ליערן 27: 27-36.

[17] עמית ת. 2009. השפעת גורמים ביוטיים ואביוטיים על הביומסה ועושר המינים של צומח שיחי ועשבוני ביערות מחטניים בספר המדבר (עבודת גמר לתואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[18] פרבולוצקי א, בונה ע, זלוצקי מ ואחרים. 2011. דו"ח המלצות ועדת ממשק היער ושיקום אקולוגי בכרמל. המשד להגנת הסביבה, החברה להגנת הטבע, מכון וולקני, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, רשות הטבע והגנים, קרן קיימת לישראל.

[19] קופר א. 2011. תנאי קרינה ביער מחטני נטוע והשפעתם על התפתחות ותפקוד אלון התבור (עבודת גמר לתואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[20] קק"ל. 2004. מדיניות פיתוח בר קיימא היום ולדורות הבאים. ועדת משנה לפיתוח בר-קיימא. מסמך שאימץ דירקטוריון קק"ל.

[21] קרשון ר. 1973. התחדשות טבעית של אורן לאחר שרפה. ליערן 23: 6-7.

[22] רוח מ, אבני ג, בונה ע ואחרים. 1990. תכנית מעודכנת לניהול וטיפול ביערות נטע-אדם. אגף הייעור, מנהל פיתוח הקרקע, קק"ל.

[23] ריימן-ברמן א, בן-יאיר ש ובוקן ב. 2010. יער או פער? התבססות האלון המצוי ביערות האורן בישראל. אקולוגיה וסביבה 1(1): 38-46.

[24] שילר ג. 1978. השפעת גורמי הסביבה על ההתחדשות הטבעית של יער אורן ירושלים (עבודה לקבלת תואר דוקטור). תל-אביב: אוניברסיטת תל-אביב.

[25] שילר ג. 1998. שימוש במדדים פיזיולוגיים בתכנון ובממשק יער וחורש למטרות נופש. אקולוגיה וסביבה 5: 34-44.

[26] Amir S and Rechtman O. 2006. The development of forest policy in Israel in the 20th century: Implications for the future. *Forest Policy and Economics* 8(1): 35-51.

[27] Buse J, Ievanony T, Timm A, et al. 2010. Saproxyllic beetle assemblages in the Mediterranean region: Impact of forest management on richness and structure. *Forest Ecology and Management* 259: 1376-1384.

[28] Friedemann G, Yom-Tov Y, Motro U, and Leshem Y. 2011. Shift in nesting ground of the long-legged buzzard (*Buteo rufinus*) in Judea, Israel - An effect of habitat change. *Biological Conservation* 144: 402-406.

[29] Hadar L, Osem Y, Sagiv S, and Prevolotsky A. 2011. Colonization of *Pinus halepensis* in southern Mt. Carmel, Israel: Science, values and management. Poster presented in Medpine 4, 4th International Conference on Mediterranean Pines; 6-10 June 2011; Avignon, France.

[30] Lavi A, Perevolotsky A, Kigel J, and Noy-Meir I. 2005. Invasion of *Pinus halepensis* from plantations into adjacent natural habitats. *Applied Vegetation Science* 8: 85-92.

[31] Martinez JJI. 2008. Firebreaks in planted pine forests in Israel: Patches for Mediterranean bota ants. *Vie et Milieu - Life and Environment* 58: 233-236.

[32] Nathan R and Ne'emam G. 2004. Spatiotemporal dynamics of recruitment in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller). *Plant Ecology* 171: 123-137.

[33] Nathan R, Safriel UN, Noy-Meir I, and Schiller G. 1999. Seed release without fire in *Pinus halepensis*, a Mediterranean serotinous wind-dispersed tree. *Journal of Ecology* 87: 659-669.

[34] Ne'emam G. 1997. Regeneration of natural pine forest - Review of work done after the 1989 fire in Mount Carmel, Israel. *International Journal of Wildland Fire* 7: 295-306.

[35] Ne'emam G, Goubitz S, and Natatn R. 2004. Reproductive



- [42] Raz-Yaseef N, Rotenberg E, and Yakir D. 2010. Effects of spatial variations in soil evaporation caused by tree shading on water flux partitioning in a semi-arid pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology* **150**: 454–462.
- [43] 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.
- [44] Rotenberg E and Yakir D. 2010. Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science* **327**: 451–454.
- [45] Sheffer E. 2012. Reciprocal colonization and transformation of Mediterranean ecosystems by *Pinus halepensis* and *Quercus calliprinos* (PhD dissertation). Jerusalem: The Hebrew University of Jerusalem.
- [46] Shochat E, Abramsky Z, and Pinshow B. 2001. Breeding bird diversity in the Negev: Effects of scrub fragmentation by planted forests. *Journal of Applied Ecology* **38**: 1135–1147.
- [47] Tauber I. 1993. Economic evaluation of the Israeli forest. Direct study – FY 691B, Auburn University – School of Forestry.
- [48] Ungar ED, Rotenberg E, Cohen S, et al. 2013. Transpiration and annual water balance of Aleppo pine in a semiarid region: Implications for forest management. *Forest Ecology and Management* **298**: 39–51.
- traits of *Pinus halepensis* in the light of fire – A critical review. *Plant Ecology* **171**: 69–79.
- [36] Noy-Meir I. 1989. An ecological view point on afforestation in Israel: Past and future. *Allgemeine Forst Zeitschrift* **24**: 614–619.
- [37] Osem Y, Lavi A, and Rosenfeld A. 2011. Colonization of *Pinus halepensis* in Mediterranean habitats: Consequences of afforestation, grazing and fire. *Biological Invasions* **13**: 485–498.
- [38] Osem Y, Ginsberg P, Tauber I, et al. 2008. Sustainable management of Mediterranean planted coniferous forests: An Israeli definition. *Journal of Forestry* **106**: 38–46.
- [39] Osem Y, Zangi E, Bney-Moshe E, and Moshe Y. 2012. Understory woody vegetation in manmade Mediterranean pine forests: Variation in community structure along a rainfall gradient. *European Journal of Forest Research* **131**: 693–704.
- [40] Osem Y, Zangi E, Bney-Moshe E, et al. 2009. The potential of transforming simple structured pine plantations into mixed Mediterranean forests through natural regeneration along a rainfall gradient. *Forest Ecology and Management* **259**: 14–23.
- [41] Perevolotsky A and Sheffer E. 2009. Forest management in Israel – The ecological alternative. *Israel Journal of Plant Sciences* **57**: 35–48.

