



השפעת דילול עצי אורן ירושלים ביער הקדושים על מגוון הפטריות שוכנות הקרקע מבחינה טקסונומית ותפקודית

סגולה מוצפי^{1,2,*} | נועם לוי^{1,2,3} | לימור צברי¹ | עזרא אורלופסקי¹

- 1 מיגל, מכון למחקר מדעי יישומי בגליל, קריית שמונה
- 2 המכללה האקדמית תל חי
- 3 אגף ייעור, קק"ל
- * segula@migal.org.il

תקציר

הבסיסה), ואילו בחלקות ללא עצי אורן ותיקים שלטו פטריות ממערכות ירודות (כיטרידומיקוטה ומוקורומיקוטה) ופטריות שאינן מוגדרות. מבחינה תפקודית נמצאה רמה גבוהה יותר של פטריות סימביוטיות בחלקות עם עצי אורן ותיקים, ואילו בחלקות ללא עצי אורן ותיקים נמצאו יותר פטריות פתוגניות וכן פטריות שאינן מוגדרות. הפטריות הספרוטרופיות הראו מופע דומה בכל החלקות. הממצאים מראים כי 12 שנים לאחר הדילול מספיקה הימצאות מספר נמוך של עצי אורן ותיקים כדי לתמוך באוכלוסיית פטריות הקרקע בדומה ליער אורנים ללא דילול, אך כריתה מלאה גרמה לשינוי באוכלוסיית פטריות הקרקע, והיא נעשתה דומה לאוכלוסייה בקרקע חלקה שלא ניטעה באורנים מעולם. יש להמשיך ולבדוק את השתנות מגוון הפטריות גם בשנים הבאות ולעקוב אחר השינויים באוכלוסיית הפטריות כתלות בשינויים הדינמיים של הצמחייה ובתנאי האקלים המקומיים.

ממלכת הפטריות חשובה ביותר לבריאות היער והסביבה. היא מכילה קבוצות פטריות בעלות תפקודים מגוונים שמושפעים מאופי היער, אך גם משפיעים על היער ועל בריאותו. בישראל ניטעו רוב היערות במאה הקודמת בעיקר כיער חד-מיני צפוף של עצי אורן ירושלים. בשנים האחרונות החלה קק"ל לבחון גישה של דילול היער המחטני וכן את השפעת הדילול על המערכת האקולוגית. במחקר זה נבדקה השפעת ממשק דילול היער על מגוון פטריות הקרקע מבחינה טקסונומית ותפקודית. המחקר בוצע בתחנה למחקר ארוך טווח ביער הקדושים בהרי יהודה. ממשקי הכריתה בוצעו בשנת 2009 לשם יצירת צפיפות עצים משתנה: צפופה, בינונית, נמוכה, כריתה מלאה וחלקת ביקורת שלא ניטעה כלל. מגוון פטריות הקרקע נבדק באביב 2020. הפטריות זוהו מולקולרית בעזרת מקטעי ה-ITS בגנום של הפטרייה, ותפקודן – פטריות מיקוריזה (סימביוטיות), ספרוטרופיות ופתוגניות – נקבע לפי מאגר נתונים. לא נמצא הבדל משמעותי בין שלושת הטיפולים שהכילו עצי אורן ותיקים מבחינת השפעת היחסי ברמות הטקסונומיות של המערכות והסדרות העיקריות וגם באופיין התפקודי של פטריות הקרקע, אך הם נבדלו משתי החלקות ללא עצי אורן ותיקים, שהראו התנהגות כללית דומה. בחלקות עם עצי אורן ותיקים שלטו פטריות מהמערכות העילאיות (בעיקר בזידיומיקוטה [פטריות

מילות מפתח

בריאות היער, טיפוס תזונה, כריתת עצים, מיקוביום (mycobiome), מיקוריזה, תחנת מחקר ארוך טווח

הקדמה

שינוי האקלים, ריבוי השרפות וריבוי כריתות העצים מביאים לשינויים במגוון הביולוגי, אך גם ממשק יער כזה או אחר יכול לגרום לשינוי של המגוון הביולוגי הטבעי. היערות בישראל, שניטעו במאה הקודמת, היו יערות צפופים וחד-מיניים שהתבססו בעיקר על עצי מחט, ובייחוד על אורן ירושלים (*Pinus halepensis*) (Osem et al., 2008). עם הזמן אובחנה התנוונות של יערות אורנים ברחבי הארץ, בעיקר של יערות בני יותר מ-50 שנה הנטועים בצפיפות (מדר ושות', 2016). עצים רבים נפלו עקב עומס שלגים ורוחות, יובש וצפיפות. כל אלה הביאו לשינוי בממשק היער ולבחינת דרכים לפיתוח היערות ולשימורם (Osem et al., 2009; Perevolotsky and Sheffer, 2008). ההמלצה כיום היא לרווח את העצים ביערות הקיימים באמצעות דילול היער. הדילול עשוי להביא לשינוי תנאי סביבה מקומיים, כמו טמפרטורה, רוחות וקרינה, ובעקבות זאת לצמצום הכיסוי של צמרות העצים ולשינוי בגדילת העצים (אסם ושות', 2021; Zangy et al., 2023), וכמובן גם לשינוי במגוון הביולוגי ביער ובקרע.

פטריות הן קבוצת אורגניזמים חשובה מאוד למערכת האקולוגית בכלל (Dighton and White, 2017) וליער בפרט (Varenus, 2017). הימצאותן של הפטריות ביער חשובה ממספר בחינות: הן משמשות למאכל, לפירוק הליגנצולוז ולמחזור הפחמן, ואף תורמות להבראת הצומח ולפוריות הקרקע. עם זאת, הן גם גורמות מחלות לצומח ולאורגניזמים אחרים ביער (Mauri et al., 2016), וזאת בשל העובדה שהן מגוונות מאוד מבחינת תפקודיהן ומבחינת טיפוס התזונה שלהן. פטריות ממינים שונים יכולות להיות ספֵרוטורפיות, המפרקות חומר אורגני; מיקוריטיות (סימביוטיות), החיות בסימביוזה עם הצומח; פתוגניות, התוקפות יצורים אחרים וגורמות למחלות ולתמותה (Dighton and White, 2017). בכל רגע נתון יש רק תפקיד אחד לפטרייה מסוימת, אך יש פטריות המסוגלות לשנות את תפקודן בהתאם לתנאי הסביבה. מבחינה טקסונומית הפטריות נחלקות לחמש מערכות עיקריות על פי התפתחותן האבולוציונית. פטריות הבסיסה (בַּזידיומיקוטה, Basidiomycota) ופטריות השק (אֶסקוּמיקוטה, Ascomycota) נחשבות ל"מפותחות" יותר מבחינה אבולוציונית, ואילו מערכות המוקורומיקוטה (Mucoromycota), הזיגומיקוטה (Zygomycota) והכטרידיומיקוטה (Chytridiomycota) נחשבות "ירודות" מבחינה אבולוציונית. מחקרים קודמים הראו כי התפתחות המערכת האקולוגית של היער קשורה קשר הדוק להרכב אוכלוסיית הפטריות (Clemmensen et al., 2015), ועל כן שמירה על מגוון האוכלוסיות של הפטריות חשובה לסקצסיה בסביבה. העניין באקולוגיה של פטריות בכלל, ובחשיבותן של פטריות

הקרקע לבריאות היער בפרט, הוזנח בישראל במשך שנים בהשוואה למחקר בעולם. בעוד שבועולם קיימים מחקרים רבים בנושא פטריות היער ובריאות היער, ובכלל זאת מחקרים על השפעת ממשקי יער שונים על מגוון הפטריות (Tomao et al., 2019), הרי שבישראל נחקרו הפטריות בעיקר בהקשר של נוכחות פטריות עילאיות (פטריות כובע) (בנימיני, 1984; Barseghyan and Wasser, 2008; Lewinsohn and Masaphy, 2008). מחקר אחד עסק בפטריות ביער של אורן ירושלים והשווה את מצאי הפטריות העל-קרקעיות המפרקות עץ, ביער צעיר וביער בוגר. כצפוי, נמצאו ביער הבוגר יותר מיני פטריות מפרקות עץ (Czederpiltz et al., 2004). עם זאת, בשנים האחרונות גבר העניין הציבורי בפטריות, בעיקר בהקשר של פטריות מאכל וחיפוש דרכים להגדלת מספרן ביער (אזוב ושות', 2020), וכן בהקשר של משבר האקלים וקיבוע הפחמן ביער (Cahanovitch et al., 2022).

בישראל הוחל לאחרונה לבחון וליישם משטרי דילול של עצי אורן באזורים שונים. בשנת 2009 הכשירה קק"ל חלקה למחקר ארוך ביער בהר קדושים שבהרי יהודה כדי לבחון את השפעותיהם של משטרי דילול שונים של עצי אורן ירושלים ותיקים על המערכת האקולוגית ועל פעילות היער (אסם ושות', 2021; Zangy et al., 2023). במחקר הנוכחי נבדקו השינויים שהתרחשו במגוון פטריות שנמצאו בקרקע (mycobiome) ונבדק תפקודן בעקבות ממשקי הדילול השונים בחלקת מחקר ארוך טווח (LTER) בפעם הראשונה בישראל. המחקר התבצע בשנת 2020, כ-12 שנים לאחר דילול היער. נבדקו שינויים בשפע היחסי ברמה הטקסונומית של מערכות הפטריות וסדרות הפטריות, וכן ברמתן התפקודית הכללית: האם הן סימביוטיות, ספרוטורפיות או פתוגניות. תוצאות המחקר יכולות להאיר את המתרחש במגוון פטריות הקרקע בעקבות דילול היער, וללמד עד כמה ניתן לצמצם את מספר האורנים ביער בלי לפגוע במגוון הפטריות המאפיין את יער האורנים בישראל.

שיטות

אתר המחקר: המחקר נערך ביער הקדושים השוכן בשיפולים המערביים של הרי יהודה, בגובה שבין 390 ל-510 מטר. באזור שורר אקלים ים תיכוני טיפוסי עם חורף רטוב וקר וקיץ חם ויבש. הקרקע רדודה, בעיקר טרה רוסה חומה על מסלע דולומיט (אסם ושות', 2023). היער הנחקר הוא יער חד-מיני המבוסס על עצי אורן ירושלים שניטעו בשנת 1969. בשנת 2009 בוצעה כריתת עצי אורן ותיקים בתחנת ה-LTER ביער הקדושים לדילול העצים לרמות צפיפות שונה. השטח חולק לחלקות בגודל של כ-70x70 מטר עם ממשקי דילול שונים (איור 1). בכל חלקה

דגימת הקרקע: לצורך בדיקת מגוון הפטריות בקרקע היער התבצעה דגימת קרקע לאורך סימוני הגבול של האזור המתוחם בארבעת צירי הגבול של כל חלקה. שתי דגימות נלקחו מכל צד, במרחקים שווים בין דגימה לדגימה, ובסך הכול נלקחו שמונה דגימות לחלקה, מעומק של 5–10 ס"מ מפני הקרקע. זיהוי מולקולרי של מגוון הפטריות נעשה על ידי הפקת DNA באמצעות ערכת ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep Kit (Zymo Research, United States), וריצוף מקטע ה-ITS ב-DNA הגנומי בשימוש בזוג הפריימרים ITS1–ITS2. הריצוף והעיבוד הביואינפורמטי נעשו באוניברסיטת אילינוי בשיקגו במעבדת The DNA Services Facility (UIC). כמו כן, אופיינו תפקודי הפטריות לפי אופן תזונתן בהשוואה לבנק הנתונים (gith ub.com/ FUNGuild) (UMNFuN/FUNGuild).

עיבוד נתונים: שמונה דגימות נלקחו מכל חלקה משלוש חלקות חזרה לכל סוג של טיפול דילול. מבנה אוכלוסיית הפטריות נקבע לפי החלק היחסי של כל פרט מזוהה מתוך כלל הפרטים שנמצאו בכל דגימת הקרקע. התוצאות חושבו כממוצע של שלוש החלקות. לא הוכנסו לחישוב מינים שחלקם היחסי בכל הטיפולים היה פחות מ-2% מכלל האוכלוסייה באותו טיפול. גם דוגמאות שהריצוף כשל בהן הוצאו מהממוצע.

תוצאות

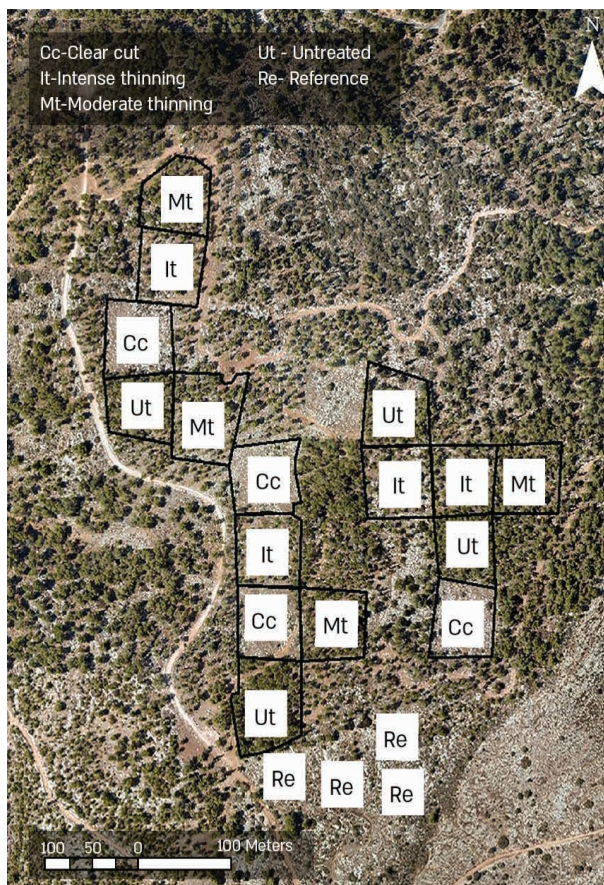
אפיון שטחי הדגימה

הדגימה התבצעה בחודש מרץ 2020, כשהיער התאפיין בצמחייה אביבית, בפרחים, בשיחים ובעשבייה. חלקות הטיפול השונות התאפיינו במופע צומח שונה (איור 2). בחלקה שנכרתו בה כל העצים הוותיקים, גדלו עשבים ושיחים צפופים, ללא עצי אורן בוגרים, אך הייתה התחדשות טבעית של אורנים צעירים ושל עצים אחרים בגילים שונים ובצפיפות שונה. לעומת זאת, בחלקה שעברה דילול חלקי נמצאה תערובת של צמחים עשבוניים באזורים מסוימים ושכבה של כיסוי פני הקרקע במחטי האורן עם נישות מקומיות מגוונות. בחלקת האורנים הצפופה, שלא דוללה כלל, נמצאו עצים צפופים, לרוב עם גזעים דקים מאלה שבחלקה המדוללת חלקית, וכפי הקרקע היו מכוסים במעטה של מחטי אורן עם צמחייה עשבונית דלה.

מגוון פטריות הקרקע

רמה טקסונומית של מערכות (Phylae): באיור 3 מובאות תוצאות השפע היחסי של חמש המערכות העיקריות של

יש גבול פנימי מארבעה כיוונים (מזרח, מערב, דרום, צפון) התוחם את ליבת החלקה בגודל של 40x40 מטר. החלקות מבוקרות, ואין כל הפרעה מלאכותית בליבת כל חלקה. בחלקות המחקר בוצעו חמישה ממשקי דילול על ידי כריתה מכוונת של עצי האורן: א. חלקות ללא דילול עם כ-50 עצים לדונם, כביקורת; ב. חלקות עם דילול בינוני לצפיפות של 30 עצים לדונם; ג. חלקות עם דילול חזק לצפיפות של 10 עצים לדונם; ד. חלקות עם כריתה מלאה, כביקורת; ה. חלקות שלא ניטעו, כביקורת נוספת. בכל ממשק דילול נדגמו שלוש חלקות חזרה. הצמחייה הטבעית באתר המחקר התבססה על שיחים ים תיכוניים, כמו סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*), אלת המסטיק (*Pistacia lentiscus*), אשחר ארץ-ישראלי (*Rhamnus lycioides*) ועצים מעטים של אלון מצוי (*Quercus calliprinos*) (אסם ושות', 2023).



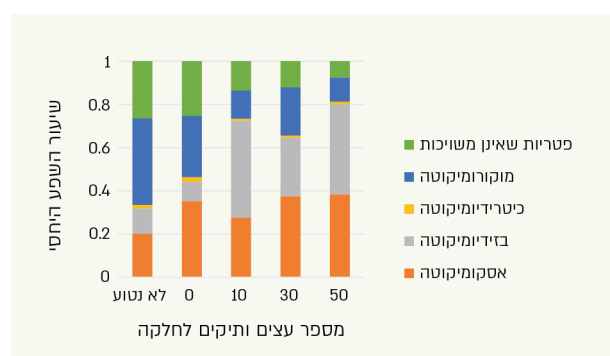
איור 1

מערך חלקות הדילול ביער הקדושים

הקווים השחורים מסמנים את גבולות חלקות הניסוי (70x70 מטר). הקווים הלבנים מסמנים את גבולות שטח הניטור בכל חלקה (40x40 מטר). טיפולי הדילול שבוצעו היו: כריתה מלאה (Cc), 0 עצים לדונם, דילול חזק (It, 10 עצים לדונם), דילול מתון (Mt, 30 עצים לדונם), ביקורת ללא דילול (Ut, 50 עצים לדונם) וחלקות ביקורת (Re, ללא עצים נטועים). הצילום מ-2010. לקוח מאסם ושות', 2023.

הפטטריות. נראה כי הפטריות בקרקע הראו רמת הישרדות גבוהה בכל חלקות היער שהיו בהן עצים ברמות צפיפות שונות – 50, 30, ו-10 עצים לדונם. בכל החלקות הללו, ללא קשר לצפיפות העצים, נמצאו פטריות רבות ממערכת הבזידיומיקוטה עם שפע יחסי של 25–42% (ממוצע לטיפול) מכלל המערכות שנמצאו בקרקעות אלה, ואילו בשני הטיפולים ללא עצי אורן ותיקים (חלקה כרותה וחלקה לא נטועה) השפע היחסי היה רק 8% ו-11% אחוז. גם פטריות ממערכת האסקומיקוטה נמצאו באחוז גבוה יותר בחלקות שיש בהן או שהיו בהן בעבר אורנים ותיקים, אך בהפרש נמוך יותר (שפע יחסי של 26–38% לחלקות עם עצי אורן ותיקים בהווה ובעבר, לעומת 20% בחלקת הביקורת שלא ניטעה). לעומת זאת, בשני הטיפולים בחלקות ללא עצי אורן ותיקים נמצאו פטריות רבות יותר ממערכת המוקורומיקוטה (30–49%), לעומת 18–25% בחלקות עם עצי האורן הוותיקים) והכיטרידיומיקוטה (כ-2% לעומת כ-1% בחלקות עם האורנים הוותיקים). עוד נמצא כי בקרקע של חלקות ללא עצי אורן ותיקים נמצא מגוון גדול של פטריות שלא ניתן לקבוע את שיוכן למערכת כלשהי (Fungi Incertae debis) משום שאינן מזוהות באופן מוחלט (27–33% בחלקות ללא אורנים לעומת כ-11–20% בחלקות עם עצי אורן ותיקים). יש לציין שאוכלוסיות הפטריות נבדקו על בסיס מולקולרי ללא תרבות הפטריות, ונבדק מאגר ה-DNA שבקרקע ולא הפטריות החיות והפעילות, ועל כן יש מספר רב של פטריות שאינן מזוהות לגמרי.

רמה טקסונומית של סדרות (Order): בסך הכול התקבלו כ-50 סדרות שונות בכל החלקות (הובאו בחשבון רק סדרות שהופיעו לפחות בשתי חזרות דגימה לכל חלקה, ובשפע יחסי של למעלה מ-0.02% באחת החזרות לפחות).



איור 3

השוואת מגוון הפטריות ברמת המערכות בחלקות הדילול השונות

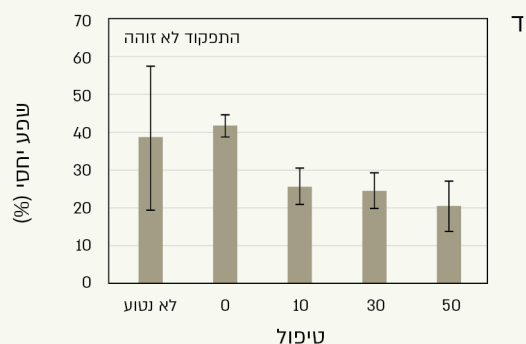
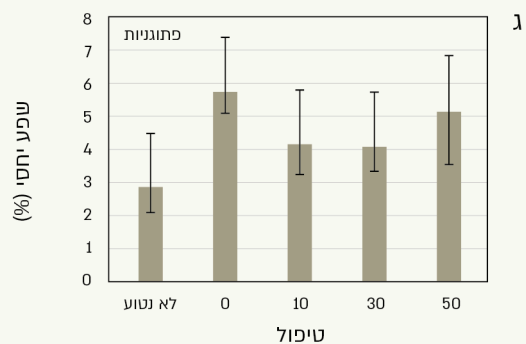
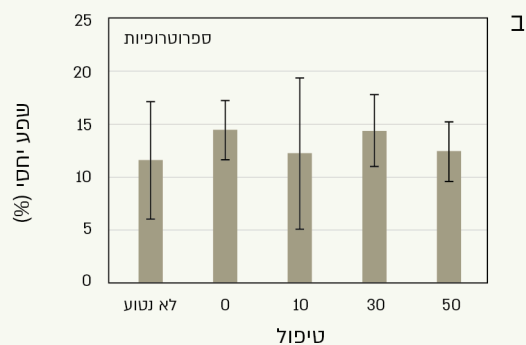
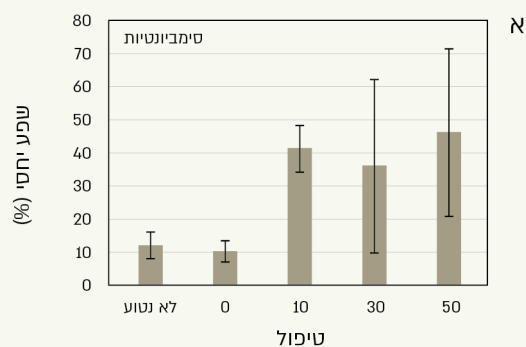
התוצאות הן ממוצע של שלוש חלקות חזרה לכל טיפול. ציר Y מציין את השפע היחסי של כל מערכה מכלל חמש הקבוצות.



איור 2

יער הקדושים, מופע כיסוי הצומח בחלקות עם ממשקי הדילול השונים

א. חלקה שלא דוללה, 50 עצים לדונם; ב. חלקה מדוללת, 10 עצים לדונם; ג. חלקה עם כריתה מלאה של עצי האורן הוותיקים. צילום: סגולה מוצפי.

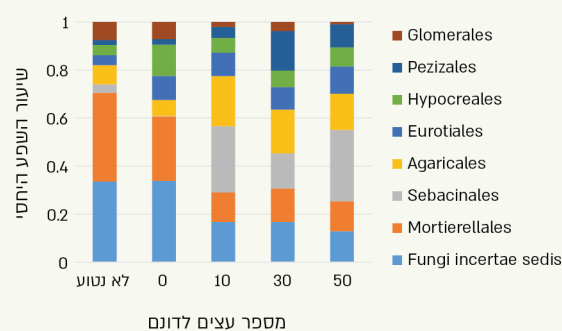


רובן היו בשפע יחסי נמוך מ-1% מכלל הפטריות שנמצאו בכלל הדגימות, ורק שמונה הופיעו עם שפע יחסי של מעל 10% (הנתונים אינם מוצגים). באיור 4 מוצגות תוצאות ההתפלגות של שבע סדרות מזוהות ועוד מקבץ של פטריות שאינן מזוהות, שהראו את השפע היחסי הגבוה בכל הטיפולים.

בחלקות עם עצי אורן ותיקים נמצאו פטריות רבות יותר מהסדרות Agaricales ו-Sebacinales – שתיהן מעל 10% בחלקות עם עצי אורן ותיקים וכחות מ-5% בחלקות ללא עצי אורן ותיקים. גם הסדרות Hypocreales, Pezizales ו-Eurotiales הראו שפע יחסי גבוה יותר בכל החלקות עם עצי אורן ותיקים וגם בחלקה שנכרתה במלואה, ואילו בחלקה שלא ניטעה היה שפע יחסי נמוך יותר, אך בהפרש קטן. לעומת זאת, בחלקות ללא עצי אורן ותיקים, בין אם החלקה כרותה לגמרי ובין אם לא ניטעה מעולם, נמצאו פטריות רבות יותר מהסדרות Mortierellales (27%) בחלקה לא נטועה, 16% בחלקה כרותה לגמרי, ו-10-11% בחלקות עם אורנים) Glomerales (4.4-5.5%) בחלקות ללא עצי אורן ותיקים לעומת 0.7-2.7% בחלקות עם עצי אורן ותיקים). גם ברמת הסדרות, כמו ברמת המערכות, נמצאו פטריות רבות ששיוכן אינו ודאי, בעיקר בחלקות ללא עצי אורן ותיקים: 20-24% בחלקות ללא עצי אורן ותיקים, ו-10-15% בחלקות עם עצי אורן ותיקים.

קבוצות תפקודיות של הפטריות בקרקע בחלקות ה-LTER

אפיון נוסף שנבקע במחקר זה הוא שיוך הפטריות לקבוצות תפקודיות לפי הטיפוס התזונתי. באיור 5 מוצגות התוצאות



איור 5

התפלגות הפטריות (כאחוז מכלל הפטריות בכל טיפול) בקרקעות טיפולי הדילול השונים לפי טיפוס תזונה

התוצאות הן ממוצע לשלוש חלקות חזרה לכל טיפול דילול ± סטיית תקן. א. פטריות סימביונטיות; ב. פטריות ספרוטופיות; ג. פטריות פתוגניות; ד. פטריות שתפקודן לא זוהה.

איור 4

שיעור השפע היחסי של שבע סדרות הפטריות העיקריות בחלקות עם ממשקי דילול שונים, וסדרה נוספת של הפטריות שאינן משייכות

הסדרות האלה הראו את השפע היחסי הגדול ביותר מכלל הסדרות בכלל החלקות בדגימה אביב. הערכים הם תוצאות של ממוצע שלוש חלקות חזרה לכל ממשק דילול.

של שלוש קבוצות תפקודיות שונות: ספרוטרופיות, סימביונטיות ופתוגניות, ומוצג חלקן היחסי בכל ממשק דילול. נוסף על כך, ישנה קבוצה שלא ניתן היה להגדיר את אופייה התזונתי. מהתוצאות ניתן לראות כי בדגימה באביב קבוצת הפטריות הסימביונטיות גבוהה באופן מובהק בחלקות עם 50 ו-10 עצי אורן ותיקים בהשוואה לחלקות ללא עצי אורן ותיקים. גם חלקת 30 עצים לדונם הראתה יותר פטריות סימביונטיות מאשר חלקות ללא עצי אורן, אך לא באופן מובהק. יש לציין שאין הפרדה בין אנדומיקוריזה (הפטרייה נמצאת בתוך רקמת השורש) ואקטומיקוריזה (הפטרייה נמצאת על פני רקמת השורש). לא נמצא הבדל ברמת הפטריות הספרוטרופיות בכל ממשקי הדילול. גם ברמת הפטריות הפתוגניות לא נראה הבדל בין ממשקי הדילול השונים, למעט החלקה הכרותה לגמרי שבה נראתה מגמה של יותר פטריות פתוגניות מאשר בחלקות עם האורנים הוותיקים ובחלקה הלא-נטועה. גם בבדיקת תפקודי הפטריות נמצאו מיני פטריות רבים יותר שתפקודם אינו ברור בחלקות ללא עצי אורן ותיקים, מאחר שהזיהוי המולקולרי של מיני פטריות רבים בחלקות האלה לא צלח.

דיון וסיכום

במחקר הנוכחי, בדגימה באביב, 12 שנים לאחר דילול היער מ-50 ל-10 עצים לדונם, לרוב לא נמצא הבדל משמעותי במגוון פטריות הקרקע ברמת המערכות ושמונה הסדרות העיקריות של הפטריות, ואף לא מבחינת תפקודי הפטריות בחלקות ה-LTER. לעומת זאת, כריתת כל עצי האורן מהחלקה שינתה מאוד את אוכלוסיית הפטריות, והיא דמתה לאוכלוסיית הפטריות שבחלקות לא-נטועות. בחלקות עם עצי אורן ותיקים נמצא שפע יחסי גבוה יותר של פטריות ממערכת הבזידומיקוטה בהשוואה לחלקות ללא עצי אורן ותיקים. פטריות ממערכה זו הן בעלות מערכות אנזימטיות המסוגלות להתמודד עם החומר האורגני המעוצה שביער, אף על פי שהוא קשה פירוק. רבות מהן מייצרות גופי ריבוי מקרוסקופיים מתחת לפני הקרקע או מעליה, ורבות חיות בסימביוזה עם העצים (בעיקר כאקטומיקוריזה) או שהן ספרוטרופיות. הסדרות העיקריות ממערכה זו שנמצאו כאן היו מהסדרות Agaricales ו-Sebacinales. גם פטריות ממערכת האסקומיקוטה, מהסדרות Pezizales, Eurotiales ו-Hypocreales, היו רבות יותר בחלקות עם עצי אורן ותיקים מאשר בחלקות ללא עצי אורן ותיקים. הן כוללות פטריות שחלק מהן יוצרות גופי ריבוי מקרוסקופיים והן מגוונות מבחינה תפקודית: ספרוטרופיות, פריזיטיות, פתוגניות או אנדופיטיות. לעומת זאת, סדרת Mortierella השייכת למערכת המוקורומיקוטה, הייתה נמוכה יותר בחלקות עם עצי אורן ותיקים לעומת החלקות ללא עצי אורן

ותיקים. פטריות הקרקע הללו הן ספרוטרופיות וממלאות תפקיד משמעותי בפירוק חומר אורגני, אך גם פתוגניות. גם סדרת Glomerales, החשובה כמייצרת יחסי אנדומיקוריזה עם רוב צמחי האדמה, ובהם צמחים עשבוניים (Dighton and White, 2017), הראתה שפע יחסי נמוך בחלקות עם עצי אורן ותיקים בהשוואה לחלקות ללא עצי אורן ותיקים. התוצאות במחקר הנוכחי דומות לתוצאות עבודתם של אורן החוף (*Pinus pinaster*) לא השפיע משמעותית על הרכב אוכלוסיית הפטריות בקרקע, ולא על עושר המינים של הפטריות האקטומיקוריטיות (הסימביונטיות) או הספרוטרופיות, ברמות הדילול השונות (30–70% דילול). ההסבר שניתן היה כי מצאי המזון של הפטריות הספרוטרופיות לא הושפע מהדילול, ולכן גם הפטריות לא הושפעו, וכי הפטריות האקטומיקוריטיות נתמכות בשורשי העצים ובזרעים שנותרו בקרקע לאחר הדילול. עם זאת, במחקר אחר נמצא כי ביומסת הפטריות האקטומיקוריטיות, אך לא זו של הספרוטרופיות, יורדת בחמש השנים שלאחר הדילול (Collado et al., 2020). גם סילוק עצים המארחים פטריות סימביונטיות עלול להפחית את אוכלוסיות המינים המיקוריטיים, אם העצים הנותרים אינם מתאימים ליחסי מיקוריזה או אם הפטריות נמצאות במרחק גדול מדי מהעצים שהוסרו (Kyaschenko et al., 2017). לעומת זאת, בעבודתם של Lin ושות' (2016) נמצאו שינויים משמעותיים במגוון פטריות הקרקע ביער עצי קריפטומריה יפנית (*Cryptomeria japonica*) בחלקות מדוללות ברמות שונות עד 21 חודשים ממועד הדילול, אך לאחר מכן לא נרשמו הבדלים משמעותיים. שינויים אלה במגוון הפטריות נובעים משינויים במאפייני הקרקע שמתרחשים עם הזמן עקב שינויים בצומח העל-קרקעי ובתנאי הסביבה. גם במחקר הנוכחי החלקה הכרותה התנהגה בדומה לחלקה שלא ניטעה מעולם, ככל הנראה משום שתנאי הקרקע והצמחייה העל-קרקעית (העשבונית בעיקרה) היו דומים בשתייהן בזמן הדגימה. עם זאת, בחלקות הכרותות לגמרי, שלהן היסטוריה של יער עצי אורן, החל גידול של עצי אורן צעירים שהתפתחו באופן טבעי מהזרעים שהיו באדמה. יש להניח שעם הזמן תשתנה אוכלוסיית הפטריות בחלקה זו ותיעשה דומה לקהילת הפטריות בקרקע של החלקות עם האורנים הוותיקים. לשם בדיקת ההשערה יהיה צורך להמשיך ולדגום את החלקה הזו גם בעתיד ולעקוב אחר הדינמיקה של השינויים.

המחקר המוצג כאן נעשה בתחנת ה-LTER ביער הקדושים, שבנויה באופן שלא אמורה להיות כל התערבות מלאכותית בליבת החלקה, וההנחה היא כי השינויים בקרקע הם שינויים טבעיים. כלומר, אין בה התערבות אנתרופוגנית שעלולה להשפיע על אוכלוסיות הקרקע. יש לכך חשיבות, משום שהתערבות אנתרופוגנית משפיעה מאוד על

אחד (אביב), ורק בנקודת זמן אחת לאחר הדילול, והיה מוגבל רק לחלקות של יער אורנים, שבבסיסו היה יער חד-מיני. שינויים בתנאי הדגימה – כמו דגימה בזמן קרוב למועד הדילול, דגימה בעונה אחרת, דגימה בקרקעות אחרות או דגימה ביערות עם מגוון עצים אחר – עשויים להניב תוצאות אחרות. לאור העובדה שכיום ניטעים יערות עם מגוון עצים, יש לבדוק את השפעת ממשקי היער השונים, כמו הגדלת מגוון העצים ביער, ובכלל זאת מגוון של עצים רחבי עלים, על אוכלוסיית הפטריות בקרקע. יהיה מעניין לערוך בדיקות נוספות, כגון השוואת יערות ים תיכוניים טבעיים לעומת יערות נטועים, השפעת צפיפות העצים ביערות מעורבים, השפעת שיעור העצים המתים ביער, השפעת התערבות אנתרופוגנית (רעייה, תיירות יער ועוד) ובחינת משך הזמן הנדרש להתאוששות פטריות הקרקע לאחר ההתערבות. נוסף על כך, לאור התגברות העניין הציבורי בפטריות הכובע, יש לבדוק גם את השפעת דילול היער על מגוון הפטריות העל-קרקעיות, שמהוות כיום אטרקציה תיירותית.

תודות

לקרן קימת לישראל ולרשות מקרקעי ישראל (רמ"י) על התמיכה התקציבית בביצוע המחקר, וכן לד"ר יגיל אסם ולמור אשכנזי ממכון וולקני על הנתונים שסיפקו לנו לגבי האתר, ולסטודנטים שסייעו בדגימות.

אוכלוסיית פטריות הקרקע (Dahlberg et al., 2010; Tomao et al., 2020). משתנים רבים עשויים להשפיע על הרכב אוכלוסיית הפטריות בקרקע ועל מגוון המינים, ובהם פני השטח והתנאים הכימיים-פיזיקליים-ביולוגיים של הקרקע, המושפעים מתנאי האקלים וכן מסוג הצומח, מצפיפותו ומהשינויים העוברים עליו, שגם משפיעים על תנאי הקרקע בהיזון חוזר (Landi et al., 2015).

במחקר שנערך במקביל לבדיקת ההשפעות של אותם טיפולי ממשק דילול יער על מאפיינים יעריים אחרים, נמצא כי לאחר 12 שנה שיכרה פעולת הדילול את חיוניות העצים וצמצמה את התמותה שלהם, עודדה התפתחות של זריעי אורנים, עודדה התפתחות של זריעי אלונים מבוססים, והגדילה את מגוון הצומח ואת היצרנות בתת-היער, וזאת במחיר צמצום היצרנות של חופת היער (אסם ושות', 2023). השינויים האלה לא הביאו לשינויים דרסטיים במגוון הפטריות בחלקות עם עצי אורן ותיקים, כפי שנמצא במחקר הנוכחי, אך נמצאו הבדלים בין החלקות האלה לחלקות ללא אורנים כלל, הן במגוון פטריות הקרקע הן בתפקודן האקולוגי. מעניין כי במחקר אחר נמצא כי 15 שנה לאחר ממשק שיקום יער והתחדשות העצים חזרו תפקודי הקרקע (נטריינטים, פונקציות מחזור פחמן) לרמות של יער מקורי, אך הכיסוי העל-קרקעי לא הגיע לרמתו המקורית (Teixeira et al., 2020).

מחקר זה הוא ראשון מסוגו בישראל, והוא פותח פתח למחקרי המשך. המחקר הנוכחי עסק רק במועד דגימה

מקורות

- Collado E, Castaño C, Bonet JA, Hagenbo A, de Aragón JM, and de-Miguel S. 2020. Divergent above- and below-ground responses of fungal functional groups to forest thinning. *Soil Biology and Biochemistry*, 150, 108010
- Clemmensen KE, Michelsen A, Finlay RD, and Lindahl BD. 2024. The balance between accumulation and loss of soil organic matter in subarctic forest is related to ratios of saprotrophic, ecto- and ericoid mycorrhizal fungal guilds. *Fungal Ecology*, 71, 101359
- Czederpiltz DLL, Wikler K, Rademacher MR, Volk TJ, Hadar Y, and Micales J. 2004. Biodiversity of wood-inhabiting fungi in Israeli pine forests. *Memories – New York Botanical Garden*, 89, 191–202.
- Dahlberg A, Genney DR, and Heilmann-Clausen J. 2010. Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: Current status and future needs. *Fungal Ecology*, 3(2), 50–64.
- Dighton J and White JF. 2017. *The Fungal Community: Its Organization and Role In the Ecosystem*. CRC press.
- Kyaschenko J, Clemmensen KE, Hagenbo A, Karlton E, and Lindahl BD. 2017. Shift in fungal communities and associated enzyme activities along an age gradient of managed *Pinus sylvestris* stands. *ISME Journal*, 11(4), 863–874.
- אזוב נ, לוי ש, אייזנבנד א, קלב א, פרמן ע, לבנון ד ושות'. 2020. פיתוח שיטות להעשרת היער בפטריות מאכל מיקוריטיות ובחינת השפעתן על קצב הגידול של שלושה מיני אורן. **יער**, 19, 38–47.
- אסם י, זנגי א, אשכנזי א, קלב א, מאירוביץ א, טל ר ושות'. 2023. יער הקדושים – אתר למחקר אקולוגי ארוך טווח ביער נטע-אדם מחטני: ממשק עומדים בוגרים לעיצוב יער העתיד. **יער**, 24, 59–66.
- בנימיני נ. 1984. **פטריות הכובע בישראל**. תל אביב: הקיבוץ המאוחד.
- מדר צ, זהבי ע, הראל ר, קלב א, הר נ ובונה ע. 2016. התנוונות ותמותה של עצי אורן החוף (*Pinus pinaster*) ביער הנטוע בישראל. **יער**, 16, 57–63.
- Barseghyan GS and Wasser SP. 2008. Species diversity of operculate discomycetes in Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, 56(4), 341–348.
- Cahanovitch R, Livne-Luzon S, Angel R, and Klein T. 2022. Ectomycorrhizal fungi mediate belowground carbon transfer between pines and oaks. *The ISME Journal*, 16(5), 1420–1429.
- Castano C, Alday JG, Lindahl BD, Martinez de Aragon J, de-Miguel S, Colinas C, et al. 2018. Lack of thinning effects over inter-annual changes in soil fungal community and diversity in a Mediterranean pine forest. *Forest Ecology and Management*, 424, 420–427.

- Perevolotsky A and Sheffer E. 2009. Forest management in Israel—the ecological alternative. *Israel Journal of Plant Sciences*, 57(1–2), 35–48.
- Teixeira HM, Cardoso IM, Bianchi FJ, da Cruz Silva A, Jamme D, and Peña-Claros M. 2020. Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic forest. *Forest Ecology and Management*, 457, 117696.
- Tomao A, Bonet JA, Castano C, and de-Miguel S. 2020. How does forest management affect fungal diversity and community composition? Current knowledge and future perspectives for the conservation of forest fungi. *Forest Ecology and Management*, 457, 117678.
- Varenus K. 2017. Interactions between fungi, forest management, and ecosystem services (Vol. 2017, No. 87).
- Zangy E, Kigel J, Cohen S, Moshe Y, Ashkenazi M, Fragman-Sapir, et al. 2021. Understory plant diversity under variable overstory cover in Mediterranean forests at different spatial scales. *Forest Ecology and Management*, 494, 119319.
- Landi M, Salerni E, Ambrosio E, D'Aguanno M, Nucci A, Saveri C, et al. 2015. Concordance between vascular plant and macrofungal community composition in broadleaf deciduous forests in central Italy. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 8(3), 279.
- Lewinsohn D and Masaphy S. 2008. Mushroom cultivation and ecology forward. *Israel Journal of Plant Sciences*, 56(4), 11.
- Lin WR, Wang PH, Chen WC, Lai CM, and Winder RS. 2016. Responses of soil fungal populations and communities to the thinning of *Cryptomeria japonica* Forests. *Microbes and Environments*, 31(1), 19–26.
- Mauri A, Di Leo M, de Rigo D, and Caudullo G. 2016. *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In European Atlas of Forest Tree Species (p. e0166b8). Publication Office EU Luxembourg.
- Osem Y, Ginsberg P, Tauber I, Atzmon N, and Perevolotsky A. 2008. Sustainable management of Mediterranean planted coniferous forests: An Israeli definition. *Journal of Forestry*, 106(1), 38–46.



שורועית אפרכסית (*Tapinella panuoides*) על ענף אורן
צילום: לילך מוצאפי-הראל