



חברות דבורים ורשתות האבקה ביערות מחטניים נטועים בהשוואה לשטחי חורש סמוכים

תמר שלום | יעל מנדליק *

המחלקה לאנטומולוגיה, הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים

Yael.mandelik@mail.huji.ac.il *

תקציר

הנוגע לחשיבותם בשמירת מגוון דבורי הבר באזור. רשתות ההאבקה בחלקות תת-היער המפותח לעומת החורש נבדלו בגודלן, אך לא בתפקודן (לפי מדדי מגוון והתמחות) ובעמידותן. לסיכום, מצאנו כי ביערות שקיימת בהם סוקצסיה משמעותית ושכבת תת-יער מפותחת, קיימות חברות דבורים מגוונות, ונכחות הדבורים ניכרת. החברות האלה אומנם מגוונות פחות ושונות בהרכב המינים מחברות הדבורים בבתי הגידול הטבעיים הסמוכים, אולם הן אינן נבדלות מהן במדדי תפקוד ויציבות רשתות ההאבקה או בהרכב התפקודי. כלומר, ההבדלים בין בתי הגידול השפיעו באופן שונה על המגוון לעומת התפקוד של חברת הדבורים, ועל כן חשוב לבחון את שני ההיבטים במקביל.

ניהול בר-קיימא של יערות נטועים לא מסחריים מבוסס לרוב על התערבות ממשקית מזערית ועל תהליכי סוקצסיה טבעיים המביאים להתפתחות תת-יער ולעלייה במורכבות המבנה הפיזי שלו. עם זאת, חסר מידע לגבי ההשלכות של גישה זו על חלקים נרחבים של המגוון הביולוגי ועל שירותי המערכת האקולוגית. במחקר זה בחנו את חברות הדבורים, את חברות הצמחים, את מגוון מצעי הקינון לדבורים ואת רשתות ההאבקה (סך כל הקשרים בין מאביקים לצמחים) בחמישה יערות מחטניים נטועים בשפלת יהודה עם צומח תת-יער מפותח או דליל, והשווינו אותם לשטחי חורש פתוח סמוכים. בחלקות תת-היער המפותח נמצאו ערכים נמוכים משמעותית של שפע ומגוון של משאבי שיחור (פרחים) וקינון לדבורים, ובהתאם לכך, גם ערכים נמוכים של עושר ושפע של דבורים בהשוואה לחלקות החורש הטבעי הסמוכות. הערכים היו נמוכים עוד יותר ביערות בעלי תת-יער דליל. בהתאם לכך, ייתכן שלתהליכי הסוקצסיה והתפתחות תת-היער יש השפעה מיטיבה על איכות בית הגידול הנטוע לדבורים ועל מגוון חברת הדבורים, אולם יש להמשיך ולבחון נושא זה. ההרכב הטקסונומי של חברות הדבורים נבדל משמעותית בין שלושת בתי הגידול שנבחנו, ומלמד שהחורש ובתי הגידול הנטועים משלימים זה את זה בכל

מילות מפתח

המגוון הביולוגי, ניהול יער בר-קיימא, שירותי האבקה, שירותי מערכת אקולוגית, תת-יער

מבוא

(2018). יערות נבדלים באופן משמעותי בחשיבותם כבתי גידול לדבורים, וההבדלים נובעים מהרכב העצים, מניהול היער (Brockerhoff et al., 2017). רוב המחקרים על חברות דבורים ביערות התמקדו בהשפעות של פעולות ממשק שונות (למשל, דילול וכריתה), ונמצא קשר חיובי בין פעולות אלה, הקשורות להגברת הפתיחה של חופת היער ולהתפתחות שכבה עשבונית פורחת ושופעת, ובין השפע והעושר של מיני הדבורים (Taki et al., 2010; Korpela et al., 2015). בהשוואה לבית הגידול הטבעי שהוחלף, אך מעט ידוע על היקף השינוי בחברות הדבורים ורשתות ההאבקה שלהן ביערות נטועים.

המחקר הנוכחי בחן את חברת הדבורים, את חברת הצמחים הפורחים ואת רשתות ההאבקה ביערות מחטניים נטועים בעלי תת-יער דליל ותת-יער מפותח, בהשוואה לשטחים סמוכים בעלי צומח טבעי, ואת התאמתם ואיכותם של היערות הנטועים כבית גידול לדבורים.

שיטות**אזור המחקר ומערך הדגימה**

המחקר התבצע בחמישה יערות נטע-אדם באזור שפלת יהודה: נחושה, עדולם, משואה דרום וצפון (חלק מפארק בריטניה) וישעי (איור 1א). היערות שנבחרו מרוחקים למעלה מ-2.2 ק"מ זה מזה כדי להבטיח חוסר תלות בין החלקות בחברת הדבורים. היערות ניטעו החל מ-1950 בעיקר במינים מחטניים, ואורן ירושלים (*Pinus halepensis*) הוא המין הדומיננטי בהם. בכל יער סומנו שתי חלקות דגימה בגודל 625 מ"ר (25x25), האחת בשטח חורש טבעי פתוח/שיחיה (כולל שיחים כמו אשחר ארץ-ישראלי [*Rhamnus lycioides*] ואלון מצוי [*Quercus coccifera*]) הגובל ביער (חלקת ביקורת; איור 1ב). טיפוס זה של בית גידול "טבעי" (כלומר, עם צמחייה טבעית) הוא השכיח ביותר באזור המחקר. צמדי החלקות היו בעלי מאפיינים סביבתיים וגאומורפולוגיים דומים ככל האפשר. החלקה השנייה מוקמה בשטח יער מחטני עם התפתחות טבעית משמעותית של צומח תת-היער המעוצה (שיחים ובני-שיח; חלקת תת-יער מפותח; איור 1ג). החלקות מוקמו במרחק של כ-200 מטר משולי היער. מיקום חלקות היער ושתי החלקות הטבעיות שונה בין שתי שנות המחקר כדי להתמודד עם הפרעות (רעייה, כריתה, הצבת כוורת) ולשפר את ההאחדה בכיסוי הצמרות ותת-היער. חלקות הדגימה ביער היו נטועות בעצי אורן ירושלים עם כיסוי צמרות בינוני של 30–60% (אסם ושות', 2014). בשנת המחקר הראשונה הצפיפות הממוצעת הייתה 19 עצים לדונם (10–13 עצים לחלקה) עם כיסוי צמרות בינוני נמוך. בשנה השנייה הצפיפות הממוצעת הייתה 30 עצים לדונם (16–22 עצים לחלקה). תת-היער

אתגר מרכזי בניהול בר-קיימא של מערכות אקולוגיות מופרות הוא להבין את השינויים שנגרמים למגוון הביולוגי ולשירותי המערכת האקולוגית בעקבות פעילות האדם, ולקבוע בהתאם את אסטרטגיית הניהול המועדפת – שיקום ושחזור של החברות האקולוגיות המקוריות או שימור החברות האקולוגיות החדשות שנוצרו. שאלה בסיסית זו משמעותית במיוחד בבתי גידול מעשה ידי אדם, כמו יערות נטועים, שמתפרסים על פני שטחים נרחבים והתנאים בהם שונים, בדרך כלל, באופן משמעותי מאלה של בית הגידול הטבעי שהחליפו. שטח היערות הנטועים ברחבי העולם עולה, והם נחשבים לאחד האמצעים המרכזיים להתמודדות עם האובדן העולמי של שטחי יער טבעי (Payn et al., 2015). בהשוואה לבתי גידול טבעיים עם צמחייה מעוצה דומיננטית, כמו יערות וחורשים, המגוון הביולוגי והמגוון התפקודי בדרך כלל נמוכים יותר ביערות נטועים, והם מושפעים בעיקר מממשק היער (Bremer and Farley, 2010; Brockerhoff et al., 2017).

ניהול בר-קיימא של יערות מושתת על שילוב של מטרות אקולוגיות, כלכליות וחברתיות באמצעות שימור המגוון הביולוגי ושירותי המערכת האקולוגית (Mori et al., 2017). ביערות שאינם מסחריים, כמו בישראל, גישה זו מתבטאת בצמצום הממשק היזום ובהתבססות על תהליכי סוקצסיה טבעיים, שמביאים, בין היתר, לרב-שכבתיות ולהתפתחות תת-יער (Osem et al., 2014). התפתחות שכבת תת-יער מעלה את המורכבות המבנית ואת מגוון העצים ביער ואת זמינות המחסות והמזון, ועשויה גם לשנות תנאי מיקרו-אקלים ותאורה בקרקע היער (Gillian, 2007) וכך להשפיע על המגוון הביולוגי ועל התפקוד של היערות. עם זאת, לגבי שירותי מערכת אקולוגית רבים, כולל האבקה, השפעת ניהול יערות לפי עקרונות אלה, ובייחוד ההשפעה של התפתחות שכבת תת-יער, ידועה באופן מוגבל.

האבקה על ידי בעלי חיים חיונית לקיומן של מערכות אקולוגיות טבעיות וחקלאיות כאחת; כ-88% מכל מיני הצמחים הפורחים מואבקים על ידי בעלי חיים (Ollerton et al., 2011), וכ-77% מהגידולים המובילים בעולם תלויים במאבקים להבטחת כמות היבול ואיכותו (Klein et al., 2007). דבורי בר תורמות רבות להאבקה של מגוון גידולים (Garibaldi et al., 2013) ויכולות לספק רשת ביטחון במקרה של קריסת אוכלוסיות דבורי דבש (Garibaldi et al., 2011). לרשתות האבקה (pollination networks) – התיאור הכמותי של מכלול יחסי הגומלין בין צמחים למאבקים בחברה – יש השפעה מכרעת על היציבות והתפקוד של המערכת האקולוגית (Schleuning et al., 2015). בהתאם לכך, רשתות האבקה נעשו כלי מרכזי בניטור ובכימות של שירותי האבקה (Burkle et al., 2013; Knight et al., 2013).

נאספו נתונים מצמד החלקות, היער עם תת-היער המפותח והשטח הטבעי הסמוך לו. הדגימה בחלקות תת-היער הדליל בוצעה בימים נפרדים. סדר דגימת חמשת אתרי היערות נקבע באקראי בתחילת שנת המחקר, ונשמר קבוע לאורך עונת השדה. בכל יום דגימה נמדדו גם משתני מזג אוויר, טמפרטורה, עוצמת רוח ועוצמת קרינה. הדגימה התקיימה רק בימים שתנאי מזג האוויר בהם התאימו לפעילות דבורים (ימים בהירים, מעוננים חלקית או עם אובך קל, טמפרטורה גבוהה מ-16 מעלות צלזיוס ונמוכה מ-34 מעלות, מהירות הרוח קטנה מ-2.5 מטר לשנייה).

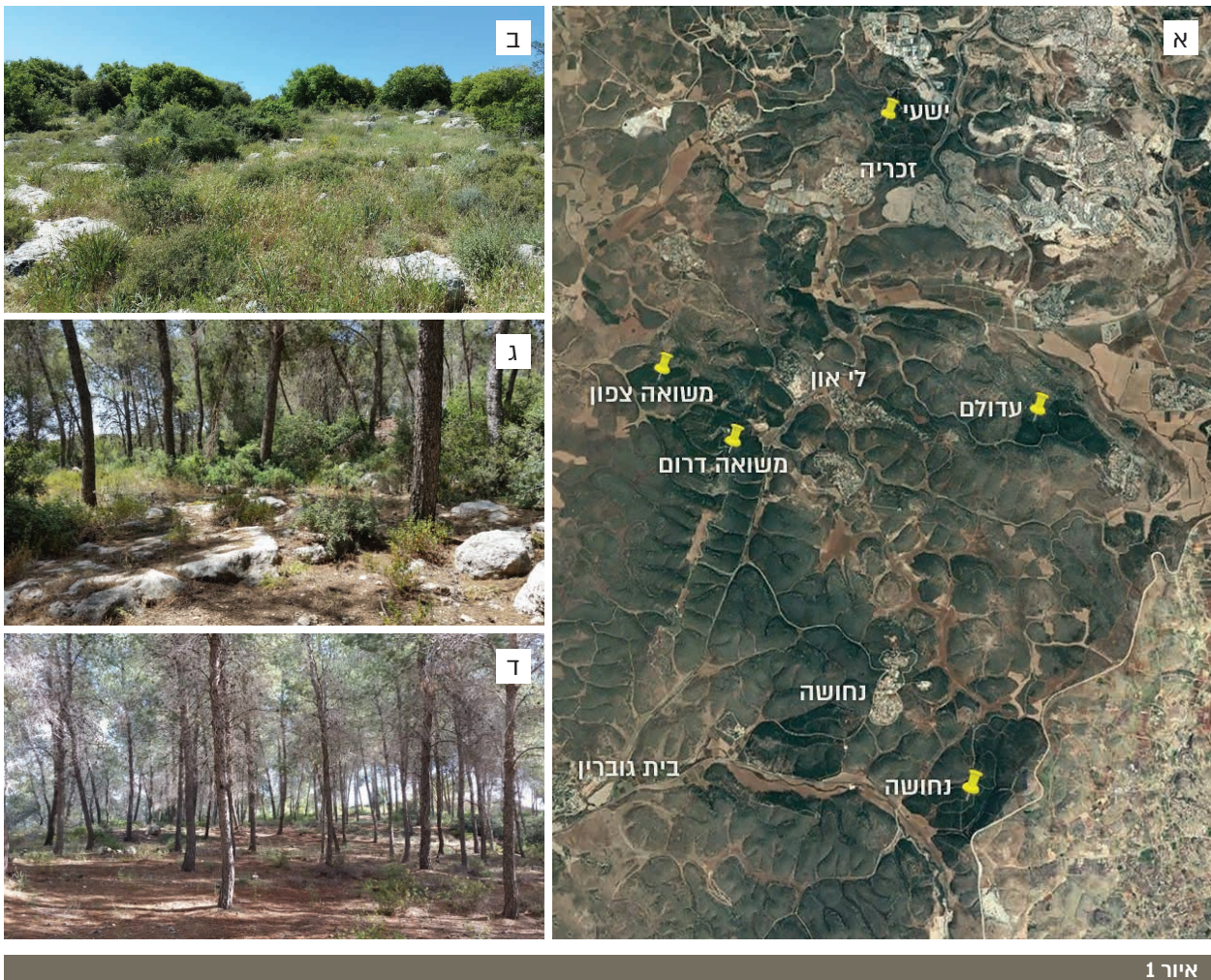
דגימת הדבורים

לקבלת מדגם מייצג נדגמו הדבורים בשתי שיטות משלימות: לכידה אקטיבית ברשת חרקים (netting) – בכל חלקה איסוף במשך 30 דקות בבוקר ובצהריים) ולכידה פסיבית בעזרת מלכודות מים (pan trap) – בכל חלקה הונחו על

היה בשיעור כיסוי של 23–50%. בשנת המחקר השנייה נוספו שתי חלקות של יער מחטני נטוע עם צפיפות עצים ממוצעת של 67 עצים לדונם והתפתחות תת-יער מעטה בלבד (<15%; חלקת תת-יער דליל; איור 1ד) ביערות משואה דרום ונחושה. בעוד שההשוואה העיקרית היא בין היער הנטוע בעל תת-היער המפותח לטח הטבעי, עניין אותנו לראות מה קורה בחלקות מיוערות עם התחדשות מועטה. מסקירת השטח המיוער באזור ושיחות עם מנהלי השטח התברר שאין שטחים רבים באזור שתת-היער בהם דליל. לכן, נמצאו רק שתי חלקות, והן סיפקו הסתכלות איכותית בלבד, ללא השוואה סטטיסטית.

איסוף נתונים

לאורך עונת האביב בשנים 2015 ו-2016 נדגמו דבורים ומשאבי שיחור (פריחה) וקיננו בשלושה סבבים במרווחים של כשניים וחצי עד שלושה וחצי שבועות. בכל יום דגימה



איור 1

חלקות המחקר

א. פריסת חלקות המחקר; ב. חלקת ביקורת – חורש פתוח; ג. חלקת תת-יער מפותח; ד. חלקת תת-יער דליל.

ניתוח סטטיסטי

השפעת בית הגידול, סבב הדגימה ויחסי הגומלין ביניהם על מגוון סוגי התכסית (מחושב לפי מדד Shannon-Wiener) נבדקו ב-ANOVA, בניתוח שונות דו-כיווני במודל גורמי מלא, עם האתר כגורם אקראי. השפע והעושר הכוללים של מיני הדבורים לעונה הושוּוּ בין בתי הגידול, ונבדקו ב-GLMM (Generalized Linear Mixed Models) עם התפלגות פואסונית (Poisson), המתאימה לנתוני ספירה, או עם התפלגות בינומית שלילית. האתר נכלל כגורם אקראי. בחירת המודל הטוב ביותר התבססה על ערכי ה-AICc (Akaike Information Criterion), המתאים לגודלי מדגם קטנים). כדי לבחון את מידת הדמיון בהרכב הטקסונומי של חברת הדבורים בין בתי הגידול, נבנו אורדינציות NMS (Non-metric Multidimensional Scaling) MRPP (Multi-Response Permutation). MRPP (Procedures) בוצעו לקביעת השפעת בית הגידול על הרכב חברת הדבורים. מדד סורטן שימש בכל ניתוחי ה-MRPP. בחינת הבדלים בין בתי הגידול בהרכב התפקודי (התפלגות התכונות האקולוגיות המאפיינות את חברת הדבורים – חברתיות, קינון, רוחב דיאטה, ואורך גפי הפה) בוצעה בעזרת מבחני אי-תלות (Fisher's exact test).

תוצאות

משאבי שיחור וקינון: מספר הפרחים, עושר מיני הצמחים הפורחים ומגוון מצעי הקינון היו גבוהים באופן משמעותי בחלקות החורש ביחס לחלקות היער, ובחלקות תת-היער המפותח לעומת חלקות תת-היער הדליל ($p < 0.05$) (איור 2).

חברת הדבורים: סך הכול נדגמו 1,391 דבורי בר ולמעלה מ-200 מינים. גם במקרה זה נמצאו ערכי שפע מינים ועושר מינים גבוהים משמעותית בחלקות החורש לעומת היערות ($p < 0.01$) וביערות עם תת-יער מפותח לעומת דליל (איור 3). הגורמים שהשפיעו משמעותית ($p < 0.01$) על ערכי השפע והעושר של מיני הדבורים היו מספר הפרחים וסוג בית הגידול, ואילו לעושר מיני הצמחים הפורחים, לעוצמת הרוח ולעוצמת הקרינה הייתה השפעה משמעותית פחות (נתונים לא מוצגים). מתוך כלל מיני הדבורים שנדגמו, דבורת הדבש הייתה בעלת השפע הגבוה ביותר בכל בתי הגידול ב-2015, ובבית הגידול הטבעי ב-2016. מבין דבורי הבר שנדגמו, דבורים מהסוג לסיוגלוסום (*Lasioglossum*) היו הדומיננטיות בכל בתי הגידול.

ההרכב הטקסונומי של מיני הדבורים נבדל באופן משמעותי בין שלושת בתי הגידול ($p < 0.01$), וההבדלים המשמעותיים ביותר נמצאו בין בית הגידול הטבעי לחלקות תת-היער הדליל (איור 4). לעומת זאת, לא נמצאו הבדלים מובהקים

הקרקע תשע קעריות פלסטיק בנפח של כ-300 סמ"ק, בצבעים כחול, צהוב ולבן, מלאות במי סבון, ונאספו לאחר שבע שעות). השיטות האלה מקובלות, נמצאו יעילות לייצוג של מגוון מיני הדבורים הקיימים בבתי גידול שונים, וכל אחת מותאמת לקבוצות שונות של דבורים (Westphal et al., 2008). לבחינת ההרכב התפקודי של חברת הדבורים נבנה מסד נתונים אקולוגיים (life-history traits) עבור כל המינים שהיה עליהם מידע זמין, בהתבסס על ספרות וחוות דעת מומחים. התכונות שנבחנו כללו חברתיות (יחידאיות / חברתיות, פרימיטיביות / קלפטופרזיטיות), קינון (בקרקע / מעל הקרקע), רוחב דיאטה – מידת התמחות באיסוף אבקה (ג'נרליסטיות / מתמחות) ואורך גפי פה (קצרים / ארוכים).

סקרי צומח ותכסית

להערכת זמינות משאבי שיחור (מזון) וקינון פוטנציאליים, המעידים על איכות בית הגידול עבור דבורים, בוצעו סקר צומח וסקר תכסית על ידי הערכת כיסוי חזותית. הסקרים נערכו בכל יום דגימה בכל אחת מהחלקות ב-15 חישובים בקוטר מטר שנפרסו באחידות בשטח החלקה. נרשמו מיני הצמחים שנמצאו בחישוב, ושהיו בעלי פרחים פתוחים, ומספר הפרחים או התפרחות בכל צמח. במקביל, בכל חישוב הוערכו אחוזי הכיסוי של סוגי התכסית הבאים: צומח עשבני, צומח מעוצה, צומח יבש, קרקע חשופה, קרקע מכוסה מחטים או נשורת עלים, אבנים וסלעים. לקטגוריות אלה יש משמעות כאמצעי קינון שונים לדבורים מקבוצות שונות.

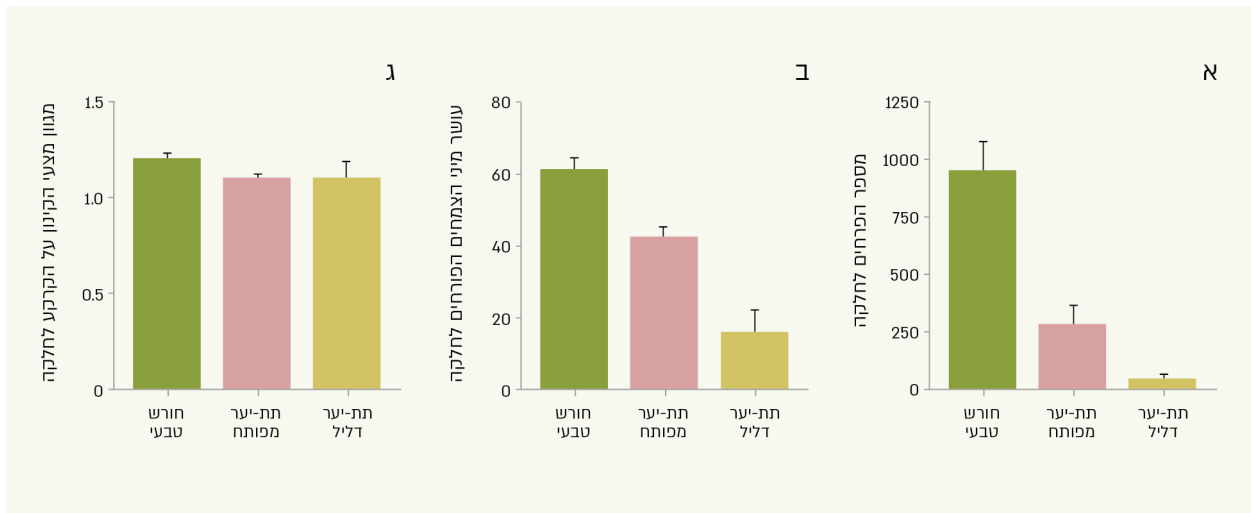
רשתות האבקה

רשתות ההאבקה התבססו על תצפיות ביקורי דבורים בפרחים שהתקבלו מהאיסוף ברשת. בחישוב המדדים לא נכללו מינים נדירים המופיעים רק פעם אחת ברשת, שכן הנתונים עליהם מצומצמים ולא בהכרח משקפים העדפות (Blüthgen et al., 2006). הפקת איורי הרשתות וכלל המדדים נעשתה באמצעות תוכנת Rstudio Inc. 2013, בשימוש בחבילת bipartite. כדי לבחון את השפעת בית הגידול על רשת ההאבקה ברמת המינים, בחנו אם מינים המופיעים בשני בתי הגידול, הטבעי והנטוע בעל תת-היער המפותח, הציגו הבדלים ברמת ההתמחות ובשותפים בין בתי הגידול. ערכי המדדים הושוּוּ בין בתי הגידול במבחן t עבור מדגמים מזווגים, לאחר שעמדו בהנחת התפלגות נורמלית. נוסף על כך, בחנו את מדד עמידות הרשת (robustness) – עד כמה הרשת עמידה להיכחדות של מינים (דבורים וצמחים פורחים). מדד זה מחושב על ידי הוצאה הדרגתית של מינים מהמערכת ובחינת ההשפעה על מבנה הרשת ועל ההסתברות להיכחדות עוקבות של מינים.

מין הדבורה למין הצמח הפורח) הראו דגם דומה עם 299 קשרים לעומת 161 קשרים בחלקות החורש לעומת חלקות תת-היער המפותח בהתאמה ($p < 0.001$; תוצאות לא מוצגות). עם זאת, מדדים של תפקוד, כולל מידת ההתמחות (של דבורים ושל צמחים), מגוון הקשרים ועמידות הרשת להכחדות מינים, לא נבדלו באופן מובהק בין שני בתי גידול. אלה.

בין בתי הגידול בהרכב התפקודי, על סמך התפלגות התכונות האקולוגיות של הדבורים – חברתיות, קינון, רוחב דיאטה ואורך גפי פה ($p > 0.52$ בכל המבחנים).

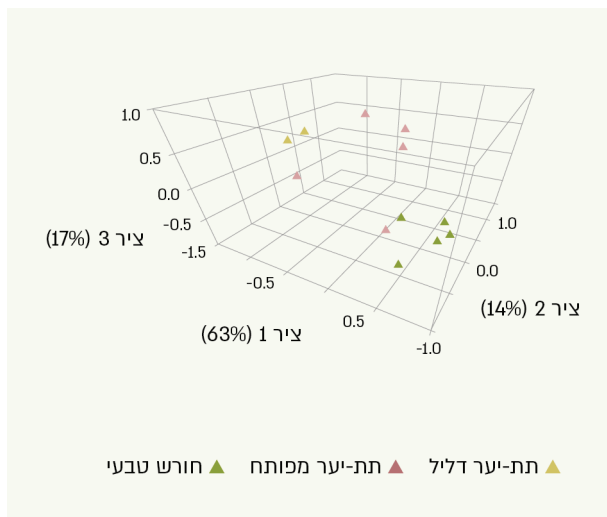
רשתות האבקה: בהמשך לערכי העושר הגבוהים של מיני הצמחים הפורחים והדבורים בחלקות החורש לעומת היער, גם גודל הרשתות ומכלול הקשרים בהן (סך כל הקשרים בין



איור 2

משאבי שיחור וקינון לפי חלקות

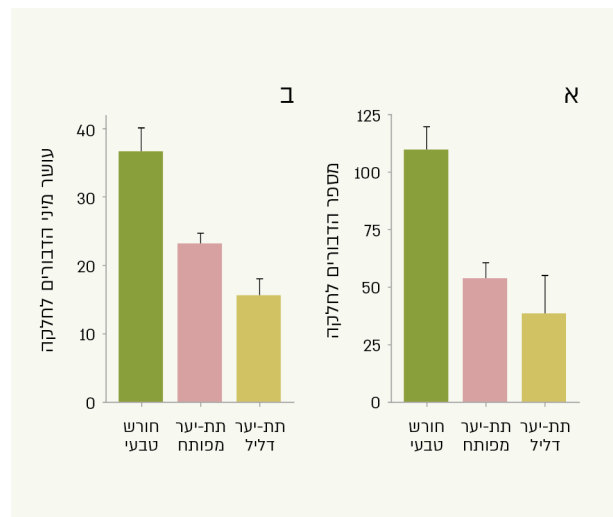
א. מספר הפרחים; ב. עושר מיני הצמחים הפורחים; ג. מגוון מצעי הקינון ממוצעים בחלקות החורש הטבעי (ירוק), חלקות תת-יער מפותח (ורוד) וחלקות תת-יער דליל (צהוב). הקווים מציגים את שגיאת התקן.



איור 4

הרכב מיני הדבורים בחלקות השונות

כל משולש מייצג חלקת דגימה. המרחקים בין החלקות באיור מבטאים את ההבדל היחסי ביניהן בהרכב המינים. כלומר, ככל שחלקות רחוקות יותר, כך הרכב המינים בהן שונה יותר, ולהפך.



איור 3

שפע ועושר של מיני דבורי בר לפי חלקות

א. שפע המינים של דבורי בר; ב. עושר מיני דבורי בר בחלקות החורש הטבעי (ירוק), חלקות תת-היער המפותח (ורוד) וחלקות תת-היער הדליל (צהוב). הקווים מציגים את שגיאת התקן.

דין

בשני בתי הגידול לא באו לידי ביטוי במדדי תפקוד ויציבות של רשתות ההאבקה. ייתכן שהדבר נובע מהיעדר הבדלים בהרכב התפקודי של חברת הדבורים בין בתי הגידול, בייחוד דמיון ביחס בין דבורים בעלות דיאטה צרה לעומת רחבה (מתמחות לעומת ג'נרליסטייות, בהתאמה), וביחס בין דבורים בעלות התאמה מורפולוגית לפרחים שטוחים לעומת צינוריים (בעלות גפי פה קצרות לעומת ארוכות, בהתאמה).

לסיכום, תוצאות מחקרנו מראות כי ביערות שקיימת בהם סוקצסיה משמעותית ונוצר תת-יער מפותח, הזמינות והמגוון של המשאבים החיוניים לדבורים עולים, ומאפשרים התבססות חברות דבורים ביערות. החברות האלה אומנם בעלות מגוון נמוך יחסית ונבדלות בהרכב המינים מחברות הדבורים בבתי הגידול הטבעיים הסמוכים, אולם הן אינן נבדלות מהן במדדי תפקוד ויציבות רשתות ההאבקה או בהרכב התפקודי. כלומר, מצאנו כי ההבדלים בין בתי הגידול השפיעו באופן שונה על המגוון לעומת התפקוד של חברת הדבורים. לכן, קביעת הממשק הרצוי ביערות צריכה להיות תלויה במטרה – שמירת המגוון או התפקוד, וחשוב לזכור כי שני היבטים לא דווקא חופפים. נדרשת בחינה במקביל של המגוון והתפקוד כדי לאפשר ניהול מיטבי של השטח. חשוב להמשיך ולחקור נושא זה, ובייחוד את ההשפעות של ממשק יער בר-קיימא, תהליכי הסוקצסיה הטבעית והיווצרות תת-יער מפותח המלווים אותו, על היבטים נוספים של מגוון ותפקוד ביערות נטועים.

היערות עם תת-היער המפותח נבדלו משמעותית משטחי החורש הסמוכים בכמות ובמגוון של משאבי השיחור והקינן שהם מספקים לדבורי בר, ובהתאם לכך גם בעושר, בשפע ובהרכב הטקסונומי של חברת הדבורים בהם. בעוד שרשתות ההאבקה בשני בתי הגידול האלה נבדלו בגודלן, הן לא נבדלו בתפקודן (לפי מדדי מגוון והתמחות) ובעמידותן. המגמות האלה מועצמות כאשר בוחנים את היערות בעלי תת-היער הדליל. כלומר, לתהליכי הסוקצסיה והתפתחות תת-היער ביערות מחטניים נטועים באזור המחקר יש השפעה מיטיבה על איכות בית הגידול הנטוע לדבורים ועל המגוון בחברת הדבורים.

עושר המינים הגבוה של דבורי בר שנמצא, המהווה כ-18% מכלל פאונת הדבורים בישראל, מדגים את חשיבותה של שפלת יהודה ככלל לשמירת מגוון דבורים. עם זאת, העובדה שביערות הנטועים העושר נמוך משמעותית, מראה כי חשיבותם לשמירת מגוון הדבורים נמוכה מזו של בתי הגידול הטבעיים הסמוכים. למרות זאת, ההבדל המשמעותי בהרכב הטקסונומי של מיני הדבורים בין בתי הגידול האלה מראה כי גם לבתי הגידול הנטועים יש חשיבות ותרומה לשמירת מגוון דבורי הבר באזור. באופן ספציפי, דבורים מהסוג אנדרנה (*Andrena*) ומשבט אוסמיני (*Osmiini*) נמצאו בקשר חיובי חזק ליערות הנטועים. כלומר החורש ובתי הגידול הנטועים משלימים זה את זה בכל הנוגע לשמירת מגוון דבורי הבר באזור. תוצאה מעניינת היא שהבדלי המגוון וההרכב הטקסונומי של חברות הדבורים

מקורות

- Burkle LA, Martin JC, and Knight TM. 2013. Plant-pollinator interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function. *Science*, 339, 1611–1615.
- Garibaldi LA, Aizen MA, Klein AM, Cunningham SA, and Harder LD. 2011. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *PNAS*, 108, 5909–5914.
- Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen MA, Bommarco R, Cunningham SA, et al. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of Honey bee abundance. *Science*, 339, 1608–1611.
- Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen, and Tscharntke T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society*, 274, 303–313.
- אסם י. 2014. 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. *אקולוגיה וסביבה*, 4(4), 321–330.
- Blüthgen N, Menzel F, and Blüthgen N. 2006. Measuring specialization in species interaction network. *BMC Ecology*, 6, 9.
- Bremer LL and Farley KA. 2010. Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodiversity Conservation*, 19, 3893–3915.
- Brockerhoff EG, Barbaro L, Castagneyrol B, Forrester, DI, Gardiner B, Gozáles-Olabarria, JR, et al. 2017. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26, 3005–3035.

- Schleuning M, Fründ J, and Garcia D. 2015. Predicting ecosystem functions from biodiversity and mutualistic network: An extension of trait-based concepts to plant-animal interactions. *Ecography*, 38, 380–392.
- Taki H, Inoue T, Tanaka H, Sueyoshi M, Isono, M, and Okabe K. 2010. Responses of community structure, diversity, and abundance of understory plants and insect assemblages to thinning in plantations. *Forest Ecology and Management*, 259, 607–613.
- Westphal C, Bommarco R, Carre G, Lamborn E, Morison N, Petanidou T, et al. 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs*, 78, 653–671.
- Knight TM, Ashman TL, Bennett JM, Burns JH, Passonneau S, and Steets JA. 2018. Reflections on, and visions for, the changing field of pollination ecology. *Ecology Letters*, 21, 1282–1295.
- Korpela EL, Hyvönen T, and Kuussaari, M. 2015. Logging in boreal field-forest ecotones promotes flower-visiting insect diversity and modifies insect community composition. *Insect Conservation and Diversity*, 8, 152–162.
- Mori AS, Lertzman K, and Gustafsson L. 2017. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: A research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology*, 54, 12–27.
- Ollerton J, Winfree R, and Tarrant S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120, 321–326.
- Payn T, Carnus JM, Freer-Smith P, Kimberley M, Kollert W, Liu S, et al. 2015. Changes in planted forests and future global implications. *Forest Ecology and Management*, 352, 57–67.



זכר של דבורה מהסוג מדרונית (*Anthophora*) אוסף צוף ומאביק פרח של מרוות ירושלים (*Salvia hierosolymitana*)
צילום: גידי פיזנטי