

צמחים מעוצים כמעצבי נוף והשפעתם על הצמחייה העשבונית בחורש היס-תיכוני בהר מירון

הראל אגרא, החוג לביולוגיה אבולוציונית וסביבתית, הפקולטה למדעים והוראתם, אוניברסיטת חיפה, agra10@bezeqint.net
גדי נאמן, החוג להוראת הביולוגיה, הפקולטה למדעים והוראתם, אוניברסיטת חיפה – אורנים – gneeman@research.haifa.ac.il

תקציר

המחקר מדגיש את חשיבות הדורקים של כתמים שונים זה לצד זה, על מנת לשמר את המגוון הביולוגי הגבוה במערכת האקולוגית של החורש היס-תיכוני.

מילות מפתח (נוספות על מילות הכותרת): כתמיות, עושר מינים, עצים ירוקי-עד, פסיפס נופי, קבוצות פונקציונליות, רעייה.

מבוא

אורגניזמים המשפיעים על סביבתם בכך שהם משנים באופן ישיר או עקיף את זמינות המשאבים עבור מינים אחרים במערכת נקראים "מהנדסי סביבה" (Ecosystem engineers) (Jones, Lawton & Shachak, 1994). מינים מעצבי נוף (Landscape Modulators – להלן LM), הם מהנדסי סביבה המשפיעים על הסביבה ועל הפסיפס הנופי על ידי יצירה של כתמים, שזמינות המשאבים בהם שונה מאשר בשאר הסביבה (Shachak et al., 2008). ההבדלים בזמינותם של משאבים ביוטיים ואביוטיים בכתמים השונים תורמים לעיצוב תהליכים אקולוגיים (Pickett & Cadenasso, 1995). תהליכים אקולוגיים אלה, המונעים על ידי מעצבי הנוף, משפיעים בצורה עקיפה וישירה על המגוון הביולוגי בכלל ועל מגוון המינים בפרט (Perevolotsky, 2005; Shachak, Gosz & Pickett, 2005; Shachak et al., 2008).

האזור הפיטוגיאוגרפי היס-תיכוני מהווה נקודה חמה (Hotspot) של המגוון הביולוגי בעולם ואחוז מיני הצמחים האנדמיים בו הוא מהגבוהים בעולם (Mittermeier et al., 2000; Myers et al., 1998). ישראל היא מוקד חשוב של עושר של מיני צמחים ואנדמיים באזור היס-תיכוני (Médail & Quézel, 1999). ההתחדשות הטבעית של החורש וסגירת הנוף על ידי העצים גורמת לירידה בשטח הזמין למיני צמחים עשבוניים (Carmel & Kadmon, 1999) ופוגעת לכן במגוון המינים. סגירת הנוף על ידי העצים עלולה גם להביא להכחדה של מינים נדירים כמו אדמונית החורש *Paeonia mascula* (Ne'eman, 2003), שושן צחור *Lilium candidum* (עוז ודפני,

המחקר האקולוגי מתמקד בעיקר בהשפעת הסביבה על האורגניזם, ואילו התהליכים שדרכם משפיעים האורגניזמים על סביבתם, שבהם מתמקד המחקר הנוכחי, זכו לתשומת לב מעטה בלבד. אורגניזמים המשפיעים על סביבתם בכך שהם משנים את זמינות המשאבים עבור מינים אחרים במערכת נקראים "מהנדסי סביבה" (Ecosystem engineers). מינים מעצבי נוף (Landscape modulators), או בקיצור LM, הם מהנדסי סביבה אשר משנים את הפסיפס הנופי, תוך שהם יוצרים כתמים בנוף, שבהם זמינות המשאבים ותפוצת מיני אורגניזמים אחרים שונה מאשר ברקע או בכתמים אחרים.

במחקר זה בדקנו את ההשפעה של עצים ירוקי-עד, שהם LM דומיננטיים, על עושר המינים המקומי של צמחים עשבוניים בחורש היס-תיכוני. השפעה זו נבדקה בחלקות שכללו את ארבעת הטיפולים הבאים: כריתת עצים ורעיית בקר; כריתת עצים ללא רעיית בקר; ללא כריתה, אך עם רעיית בקר; ללא כריתה וללא רעיית בקר. בכל החלקות נבדק עושר המינים של הצמחים העשבוניים בשני טיפוסים כתמים: כתם מעוצה (השטח מתחת לחופת עץ או המקום שממנו נכרתה) וכתם עשבוני (השטח שאינו מתחת לחופת עץ). המחקר נערך במרום הגליל, בשוליים הצפוניים של שמורת הטבע הר מירון, בשטח הנתון לרעיית בקר מתונה.

תוצאות המחקר מראות, כי ל-LM יש השפעה שלילית דרמטית על עושר המינים, אולם השפעה זו נעלמה במהרה בעקבות כריתת העצים מעצבי הנוף. כמו כן, נמצא קשר בין מיני צמחים עשבוניים מסוימים וכן בין קבוצות פונקציונליות של צמחים לבין טיפוסים הכתמים והטיפולים השונים. חשובה במיוחד התגובה השונה של מיני צמחים נדירים, הבדלים הנובעים מהנישיות הייחודיות שלהם. המסקנה המעשית של המחקר היא, כי על פי המטרה של מדיניות שמירת הטבע, ניתן להשפיע באופן מכוון על הרכב חברת הצמחים העשבוניים ועושר המינים שלה על ידי ויסות ההשפעה של הכתם המעוצה באמצעות טיפולים ממשקיים, כמו כריתה ורעייה. תוצאות

חוואר דקות והקרקע היא טרה רוסה. כמות המשקעים הרב־שנתית הממוצעת באזור היא כ־900 מ"מ. שטח המחקר נמצא בשטחי המרעה של קיבוץ סאסא, שבהם מתקיימת בחודשי הקיץ רעיית בקר בעוצמה מתונה של כ־30 ראשי בקר לקמ"ר האופיינית לשטחי החורש בגליל העליון. חלקות הניסוי הן הטרוגניות במידת הסלעיות ובכיסוי הצומח, המין המעוצה השולט (כ־60% מהפרטים) בחלקות הוא אלון מצוי *Quercus calliprinos* והוא מלווה באופן לא אחיד במיני עצים שונים, בעיקר נשירים. בין הכתמים המעוצים ישנם כתמי קרקע המאוכלסים בחורף ובאביב במיני צמחים עשבוניים. כיסוי הצומח הכללי בשטח, לפני הכריתה בסתיו 2005, היה כ־95%, מתוכם כ־60% עצים, כ־15% שיחים, כ־10% בני־שיח וכ־10% כתמים עשבוניים.

2. מערך הניסוי ואיסוף הנתונים

באתר המחקר סומנו חמישה בלוקים בשטח של כארבעה דונם. כל בלוק חולק לארבע חלקות בנות כדונם (1,000 מ"ר). כל חלקה בכל בלוק קיבלה בסתיו 2005 באופן אקראי את אחד הטיפולים הבאים: (א) כריתה של כל הצמחים המעוצים ורעיית בקר; (ב) כריתה ללא רעייה; (ג) ללא כריתה, אך עם רעייה; (ד) ללא כריתה וללא רעייה. מכיוון שכל השטח נתון לרעיית בקר גודרו החלקות ללא הרעייה. בקיץ 2006, כשנה לאחר הכריתה, נמדדו אחוזי כיסוי הצומח לאורך שני אלכסונים בכל חלקה.

בכל חלקה אותרו שני טיפוסים כתמים: (א) מעוצה – כתמי קרקע המכוסים בעצים ירוקי־עד (אלון מצוי), או שהיו מכוסים בעצים ירוקי־עד לפני הכריתה הראשונה; (ב) עשבוני – כתמי קרקע שלא היו מכוסים כלל בצמחים מעוצים בזמן הכריתה ומאוכלסים באביב בצמחים עשבוניים. כל הכתמים מאותו הטיפוס בתוך החלקה מהווים את יחידת המדגם הבסיסית שהיא טיפוס כתם בחלקה, להלן PTP Patch Type in a) בכל PTP הונחו באקראי קוודרטים של 20*20 ס"מ, שבהם הוגדרו ונספרו כל מיני הצמחים. הגדרת המינים נעשתה על פי המגדיר של פינברון־דוֹתן ודנין (1991), דנין (1998) ועל פי Flora Palaestina של Zohary & Feinbrun-Dothan (1966–1986).

את גודל המדגם (מספר הקוודרטים ב־PTP) קבענו ל־30 קוודרטים ב־PTP עשבוניים ו־50 קוודרטים ב־PTP מעוצים. זאת, לפי ניתוח של עקומות ההצטברות של המינים שנבדקו בעונת הדיגום הראשונה (אביב 2006), שבה נדגמו 30 קוודרטים בכל PTP. התוצאות, הניתוחים והמסקנות המובאים כאן הם על פי תוצאות הדיגום של עונת הדיגום השנייה (אביב 2007), כשנה וחצי לאחר ביצוע הכריתה והגידור.

3. עושר המינים המוערך של הצמחים העשבוניים (ES)

עושר המינים העשבוניים המוערך (להלן ES) נקבע בכל אחד מה־PTP's (N=40) מתוך תוצאות הדיגום של המינים

(1992) ומיני סחלבים אשר אינם יכולים להתקיים בצל מוחלט. מחקרים מהשנים האחרונות מצביעים על כך, שירידה קיצונית במגוון המינים מהווה סכנה ממשית לקיום ולתפקוד המערכות האקולוגיות (Balvanera et al., 2006; Hector & Bagchi, 2007). הנחה זו מעלה את הצורך בפיתוח כלים מדעיים, שבאמצעותם ניתן יהיה לנבא את ההשפעה של הגורמים השונים על מגוון המינים.

מחקר זה עוסק בהשפעת LM מעוצים על מגוון המינים העשבוניים ועל פיזורם במרחב. על פי המודל שאותו בוחן המחקר (Shachak et al., 2008) מעצבי הנוף המעוצים משפיעים על עושר המינים המקומי על ידי סינון מינים החודרים לכתם המעוצה ממאגר המינים האזורי. על פי אותו מודל, פעילות האדם (רעייה, כריתה) משפיעה על עושר המינים המקומי בעיקר כתוצאה מהשפעתה על מעצבי הנוף המעוצים (Shachak et al., 2008). במחקרים קודמים נמצא שכריתה, הסרה חלקית של הצומח המעוצה (LM) או רעייה בחורש היס־תיכוני גורמים לעלייה במגוון המינים העשבוניים הממוצע (Hadar, Noy-Meir & Perevolotsky, 1999; Noy-Meir & Kaplan, 2002).

לעומת זאת, המחקר הנוכחי בדק את ההשפעה של משטרי ממשק על סינון מינים מהמאגר האזורי למאגר המינים המקומי בכתמים השונים של מעצבי הנוף המעוצים (LM). באופן מפורט בדקנו את ההשפעה של טיפוס הכתם: מעוצה או עשבוני, וההשפעה של טיפולי הממשק המסורתיים: כריתה ורעיית בקר, על עושר המינים של הצומח העשבוני, על הרכב המינים, על הרכב הקבוצות הפונקציונליות ועל התפוצה של מיני עשבוניים נדירים. השערות המחקר הן: (א) עושר המינים של הצמחים העשבוניים נמוך בכתם המעוצה לעומת הכתם העשבוני (Holzapfel et al., 2006); (ב) כריתה של ה־LM משפיעה באופן חיובי על עושר המינים של הצמחים העשבוניים (Hadar, Noy-Meir & Perevolotsky, 1999); (ג) רעיית בקר משפיעה באופן חיובי על עושר המינים של הצמחים העשבוניים (Hadar, Noy-Meir & Perevolotsky, 1999; Noy-Meir & Kaplan, 2002); (ד) לכריתה ורעייה יש השפעות שונות על קבוצות פונקציונליות ומיני צמחים שונים בהתאם לתכונותיהם (Hadar, Noy-Meir & Perevolotsky, 1999; Sternberg et al., 2003; Díaz et al., 2007).

השיטות

1. אתר הניסוי

חלקות המחקר נמצאות בשני אתרים בשוליים הצפוניים של שמורת הטבע הר מירון, בפסגתו השטוחה של הר צבעון (236.8,769.3 רשת ישראל החדשה) ועל שיפוליו המתונים מזרחה (238.4,769.4 רשת ישראל החדשה) ברום של 900 ו־750 מטר בהתאמה. המסלע הוא גיר ודולומיט עם שכבות

Raunkiær (1934): נבטי עצים (Tree saplings), מטפסים (Climbing plants), בני-שיח (Dwarf shrubs), עשבוניים חד-שנתיים (Annual herbs) ועשבוניים רב-שנתיים (Perennial herbs). קבוצת השיחים לא נכללה מכיוון שלא הייתה לה נוכחות מספקת לצורך הניתוח. בנוסף לכך, בדקנו בנפרד שתי קבוצות של משפחת הדגניים: דגניים חד-שנתיים (Annual Gramineae) ודגניים רב-שנתיים (Perennial Gramineae). המשתנה התלוי שנבדק בנייתו זה הוא אחוז הקוודרטים ב-PTP, שבהם הייתה נוכחות של הקבוצה הפונקציונלית. יחידת המדגם עבור כל קבוצה פונקציונלית היא PTP (N=40). תחילה ביצענו אורדינציה קנונית, באמצעות תוכנת CANOCO (ter Braak & Smilauer, 1998). עבור כלל ה-PTP's. מכיוון שתוצאות האורדינציה הצביעו על השפעה מרעית של טיפוס הכתם (עשבוני/מעוצה) ערכנו בדיקה נפרדת בכל אחד משני טיפוס הכתמים.

5. מינים נדירים

בחלק הזה נבדקו מינים המסווגים כנדירים או נדירים מאוד על-פי פיינבורן-דוניתן ודנין (1991). נבדקו ששת המינים הנדירים אשר הופיעו ביותר מ-10 דגימות. המינים כללו שלושה מיני עשבוניים חד-שנתיים: אליסון פשוט *Alyssum simplex* (מצליבים), ארביס אביבי *Arabis verna* (מצליבים), דבקה מפושקת *Galium divaricatum* (פואתיים) ושלושה מיני עשבוניים רב-שנתיים: חספסנית הלבנון *Asperula libanotica* (פואתיים), ניסנית כינורית *Crepis reuteriana* (מורכבים) ועוקצר מנוצה *Brachypodium pinnatum* (דגניים). המשתנה התלוי שנבדק בנייתו זה הוא אחוז הקוודרטים ב-PTP שבהם הייתה נוכחות של המין. יחידת המדגם עבור כל מין מהמינים הנדירים היא PTP (N=40). הניתוח נערך בדומה לזה של נתוני הקבוצות הפונקציונליות.

תוצאות

1. כיסוי הצומח

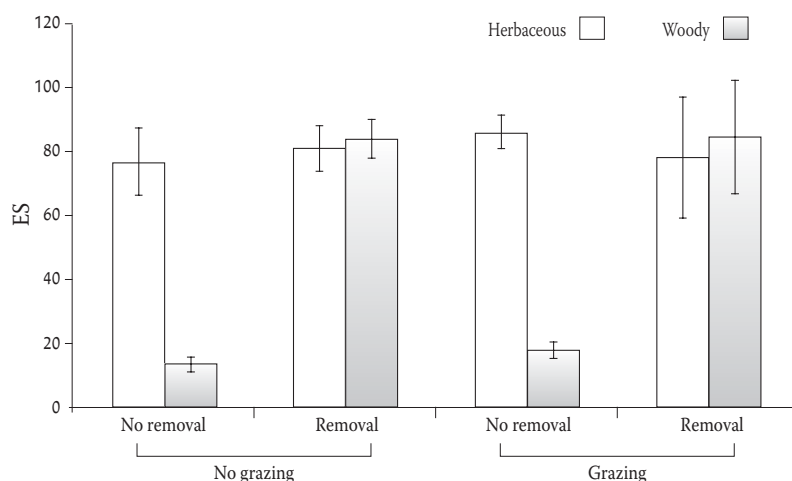
בחלקות שלא נכרתו כיסוי העצים היה 64%, מתוכם 45% אלון מצוי *Quercus calliprinos* ו-19% מיני עצים נשירים (אלה ארץ-ישראלית *Pistacia palaestina*, אלון התולע *Quercus boissieri*, עוזר קוצני *Crataegus aronia*, אגס סורי *Pyrus syriaca*, שיזף הדב *Prunus ursina*, לבנה רפואי *Cercis siliquastrum*, וכליל החורש *Stirax officinalis*). כיסוי השיחים היה 17%, בעיקר אחירותם החורש, *Spartium junceum*, אשר מנוקד *Rhamnus punctata* וקידה שעירה *Calycotome villosa*. כיסוי בני-השיח 10% (בעיקר סירה קוצנית, ושני מיני הלוטם *Cistus salviifolius*, *Cistus creticus*). רק כ-9% היו כתמי קרקע המכוסים בחורף ובאביב בעשבוניים או שטח סלעי. באותה עת, בחלקות שנכרתו עמד אחוז הכיסוי

העשבוניים בלבד. זאת, לפי ניתוח עקומת ההצטברות של המינים (Species accumulation curve) בתוכנת המחשב EstimateS (Colwell, 2005), בכלים אנליטיים שפותחו במיוחד לצורך העניין - Species Richness Estimators (SRE). להערכת עושר המינים השתמשנו בממוצע של שניים מה-SRE המקובלים ביותר (Chao, Jackknife). לאחר קביעת ערכי ES עבור ה-PTP's השונים נותחה ההשפעה של טיפוס הכתם ושל שני הטיפולים כריתה ורעייה, על עושר המינים. תחילה בוצע ניתוח שונותיות תלת-כיווני (3-way ANOVA). אחוז הכיסוי ההתחלתי של העצים צפוי להשפיע על עושר המינים ולכן הוכנס כ-Covariate במודל ניתוח השונותיות. אחוז הכיסוי ההתחלתי של העצים בחלקות שלא נכרתו נקבע כממוצע אחוזי הכיסוי של שני האלכסונים שנמדדו. אחוז הכיסוי ההתחלתי בחלקות הכרותות נקבע על פי ההערכה שנעשתה בזמן הכריתה. תוצאות ניתוח השונותיות הצביעו על השפעה מובהקת של אחוז כיסוי העצים ההתחלתי על ערכי ES, לכן בדקנו גם את המתאמים (Pearson) בין ערכי ES לכיסוי העצים ההתחלתי בכל אחד מסוגי ה-PTP. עבור סוגי ה-PTP שבהם נמצאו קורלציות מובהקות בין הכיסוי ההתחלתי של העצים לבין ערכי ES, ערכנו רגרסיה לינארית על מנת לקבוע את התלות של ערכי ES בכיסוי ההתחלתי של העצים.

4. קבוצות פונקציונליות

דרך נוספת להערכת המגוון הביולוגי היא שימוש בתדירות ההופעה של קבוצות פונקציונליות שונות "Plant functional types" (Box, 1996; Lavorel et al., 1997). חלוקת הקבוצות הפונקציונליות שבה השתמשנו מתבססת על צורות חיים של

איור 1: עושר המינים העשבוניים המוערך (ES) הממוצע (ושגיאת התקן) בכתם המעוצה והעשבוני בחלקות עם כריתה, ללא כריתה, עם רעייה וללא רעייה, כשנה וחצי לאחר הטיפולים. עבור כל עמודה N=5
Figure 1: The average (and SE) estimated herbaceous species richness (ES) in woody and in herbaceous patches under removal, no removal, grazing and no grazing treatments, a year and a half after treatment application. N=5 for each column



טבלה 1: תוצאות ניתוח שוניות תלת-כיווני לבדיקת ההשפעה של: סוג הכתם (Patch type), כריתה (Removal), רעייה (Grazing), האינטראקציות ביניהם ואחוז כיסוי העצים לפני הטיפול (Tree cover) על עושר המינים המוערך של הצמחים העשבוניים (ES). ההשפעות המודגשות מובהקות סטטיסטית ($p < 0.05$)

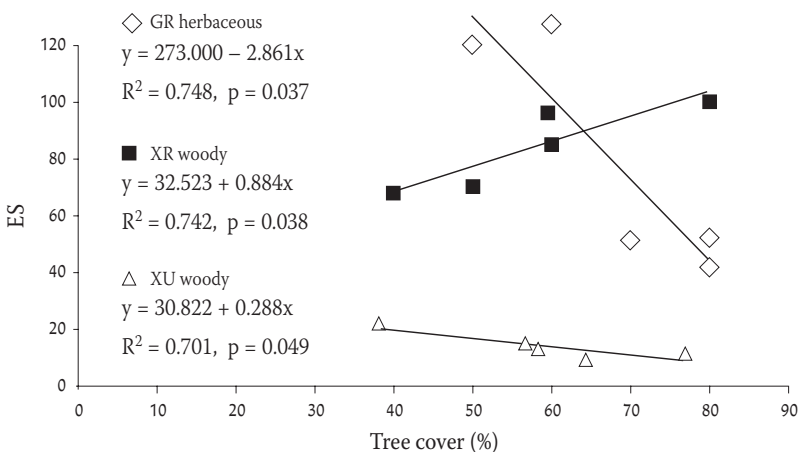
Table 1: Three way ANOVA for testing the effects of: Patch type, tree removal, grazing and their interaction on the estimated species richness of herbaceous plants (ES), using pre-treatment tree cover as covariate

Source	df	Mean Square	F	p
Corrected Model	8	4412.266	9.071	<0.001
Intercept	1	16857.57	34.655	<0.001
Tree cover (covariate)	1	2500.925	5.141	0.03
Grazing	1	739.507	1.52	0.227
Removal	1	10662.801	21.92	<0.001
Patch type	1	9241.6	18.999	<0.001
Grazing * Removal	1	151.564	0.312	0.581
Grazing * Patch type	1	0.4	0.001	0.977
Removal * Patch type	1	12180.1	25.04	<0.001
Grazing * Removal * Patch type	1	44.1	0.091	0.765
Error	31	486.435		
Total	40			

Adjusted R Squared = 0.623

איור 2: התלות בין עושר המינים העשבוניים המוערך לחלקה (ES) לבין אחוז כיסוי העצים טרם הטיפול. מוצגות המשוואות המובחנות של הרגרסיה הליניארית שהתקבלו עבור טיפוס הכתמים השונים: עשבוני ומעוצה, בחלקות הטיפול השונות: ללא רעייה וללא כריתה (XU), כריתה ללא רעייה (XR), רעייה וכריתה (GR)

Figure 2: The relation between the estimated herbaceous species richness per plot (ES) and the pre-treatment percentage of tree cover in the plot. Significant equations of the linear regressions are presented for the herbaceous and woody patch-types under the various treatments: no grazing, no removal (XU), no grazing removal (XR) and grazing and removal (GR)



הממוצע של העצים על 16%, מתוכם 12% אלון מצוי ו-4% נשירים, כיסוי של השיחים היה 8%, בני-שיח 10% וכ-66% מהשטח היו קרקע המכוסה בחורף ובאביב בעשבוניים ומעט סלעים.

2. עושר המינים המוערך של הצמחים העשבוניים (ES)

ES הנמוך ביותר היה בכתם המעוצה ללא כריתה, עם וללא רעייה, אולם הכריתה העלתה את ES בכתם המעוצה לרמה הדומה לזו של הכתם העשבוני (איור 1). ניתוח השוניות של השפעות שלושת הפקטורים: טיפוס הכתם, כריתה ורעייה והאינטראקציות ביניהם על ערכי ES של הצמחים העשבוניים היה מובהק והסביר אחוז גבוה של השונות (טבלה 1). לכריתה, לטיפוס הכתם ולאינטראקציה בין טיפוס הכתם והכריתה הייתה השפעה מבהקת על ערכי ES (טבלה 1, איור 1). לכיסוי העצים המקורי של החלקה הייתה השפעה מובהקת על ה-ES כ-Covariate (טבלה 1), לכן בדקנו ונמצאו קורלציות שליליות מובהקות בין ערכי ES לבין אחוז כיסוי העצים טרם הטיפולים בכתם המעוצה בחלקות ללא כריתה וללא רעייה ($r = -0.881, p = 0.049$) ובכתם העשבוני בחלקות הכרותות עם רעייה ($r = -0.901, p = 0.037$). כמו כן, נמצאה קורלציה חיובית בכתם המעוצה בחלקות הכרותות ללא רעייה ($r = 0.898, p = 0.038$). על פי תוצאות הרגרסיה הליניארית ניתן לנבא באופן מובהק את ערכי ES בכתמים ובחלקות הללו על פי אחוז הכיסוי ההתחלתי של העצים בחלקה (איור 2).

3. קבוצות פונקציונליות

לבדיקת הקשר שבין התפוצה של הקבוצות הפונקציונליות השונות של הצמחים לבין טיפוס הכתם והטיפולים השונים ערכנו אורדינציה קנונית (RDA) לנתונים של כלל ה-PTP's ותוצאותיה היו מובהקות ($F = 35.600, p = 0.002$). הפונקציה הקנונית של ציר האורדינציה הראשון (האופקי) מסבירה 95.4% מהשונות של בסיס הנתונים ושתי הפונקציות של שני הצירים יחדיו 99.7% מהשונות. טיפוס הכתם (מעוצה ועשבוני) הוא המרכיב העיקרי ($r = 0.865$) של הציר הראשי (האופקי). לעומת זאת, הכריתה הייתה המרכיב העיקרי ($r = 0.629$) של הציר השני (המאונך). לרעייה הייתה השפעה נמוכה בלבד ($r = 0.121$) על הציר השני (איור 3). נוכחותן של ארבע הקבוצות הפונקציונליות העשבוניות הייתה קשורה באופן ברור לכתם העשבוני. בני-השיח הראו מגמה דומה, אך חלשה יותר. נוכחות המטפסים הייתה קשורה באופן ברור לכתם המעוצה. נבטי העצים נמצאו בעיקר בכתם המעוצה ללא הכריתה (איור 3). להעמקת הבדיקה של השפעת הטיפולים על נוכחות הקבוצות הפונקציונליות של הצמחים ערכנו אורדינציה קנונית RDA לנתונים של כל טיפוס כתם בנפרד. האורדינציה של נתוני הכתם העשבוני לא הייתה מובהקת, כלומר הטיפולים לא השפיעו באופן מובהק על

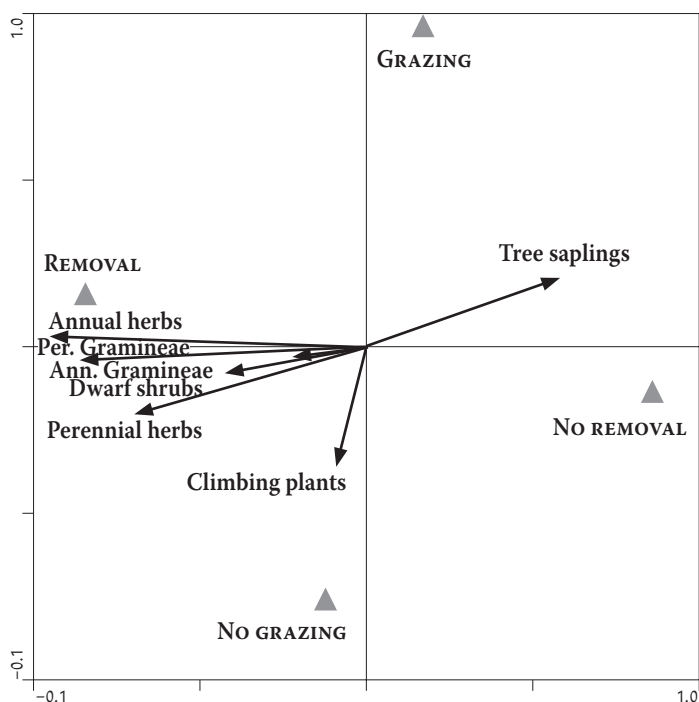
4. המינים הנדירים

לבדיקת הקשר שבין התפוצה של מיני הצמחים המוגדרים כנדירים בישראל (על-פי פיינברוך-דותן ודנין, 1991) לבין טיפוס הכתם והטיפולים השונים ערכנו אורדינציה קנונית (RDA) לנתונים של כלל ה-PTP's (איור 5). תוצאות האורדינציה היו מובהקות ($F=2,272, p=0.004$), הפונקציה הקנונית של ציר האורדינציה הראשון מסבירה 79.5% מהשונות של נתוני הקשר בין נוכחות הקבוצות הפונקציונליות לפקטורים שנבדקו, ושתי הפונקציות של שני הצירים יחדיו מסבירות 97.3% מהשונות. טיפוס הכתם (מעוצה ועשבוני) סמוכים ביותר לציר הראשון ונמצאים אתו בקורלציה של $r=0.611$. הרעיה היא הרכיב העיקרי של הציר השני ($r=0.295$) (איור 5). חספסנית הלבנון (*Asperula libanotica*) היא המין היחיד מבין המינים הנדירים שנוכחותו הייתה קשורה לכתם המעוצה. נוכחותם של שאר המינים הייתה קשורה לכתם העשבוני כאשר מתוכם ארביס (*Arabis verna*) ועוקצר מנוצה (*Brachypodium*)

נוכחות הצורות הפונקציונליות השונות של הצמחים בכתם העשבוני. לעומת זאת, האורדינציה של נתוני הכתם המעוצה (איור 4) הייתה מובהקת ($F=30.638, p=0.002$), הפונקציה הקנונית של ציר האורדינציה הראשון (האופקי) מסבירה 99.0% מהשונות בבסיס הנתונים של נוכחות הקבוצות הפונקציונליות בכתם המעוצה, ושתי הפונקציות של שני הצירים יחדיו מסבירות 100.0% מהשונות. הכריתה היא הרכיב העיקרי המשפיע על ציר האורדינציה הראשון ($r=0.934$), הרעיה השפיעה בעיקר על הציר השני ($r=0.417$) (איור 4). בכתם המעוצה נוכחותם של העשבוניים החד-שנתיים והדגניים החד-שנתיים הייתה קשורה באופן בולט לכריתה, בעוד שנוכחות הרב-שנתיים הייתה קשורה גם לטיפול ללא רעיה וכך במידה פחותה גם בני-השיח. נוכחות המטפסים בכתם המעוצה קשורה בטיפול ללא רעיה ואילו נבטי עצים היו בעיקר בחלקות ללא כריתה עם רעיה (איור 4).

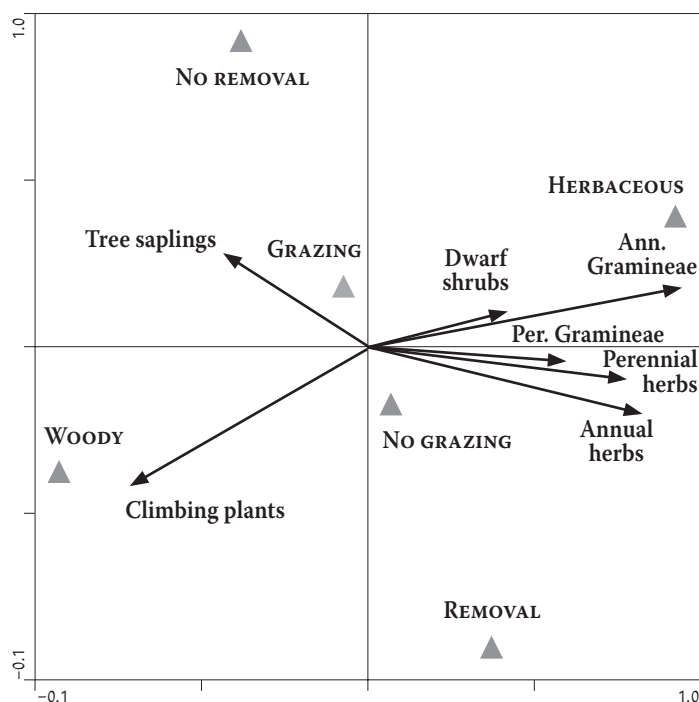
איור 4: מיקומן של הקבוצות הפונקציונליות של הצמחים: דגניים חד-שנתיים (Ann. Graminaeae), עשבוניים חד-שנתיים (Annual herbs), מטפסים (Climbing plants), בני-שיח (Dwarf shrubs), דגניים רב-שנתיים (Per. Graminaeae), עשבוניים רב-שנתיים (Perennial herbs) ועצים (Tree saplings), שנמצאו בכתם המעוצה בלבד, המסומנים כווקטורים במישור האורדינציה הקנונית (RDA) יחסית למיקומם של טיפולי הרעיה (Grazing), ללא רעיה (No grazing), כריתה (Removal) וללא כריתה (No removal) (מסומנים כמשולשים)

Figure 4: Location of the plant functional types: Ann. Graminaeae, Per. Graminaeae, Annual herbs, Perennial herbs, Climbing plants, Dwarf shrubs and Tree saplings, growing in the woody patch only, marked as vectors on the canonic ordination plane (RDA), relative to the location of the treatments: Grazing, No grazing, Removal and No removal (marked as triangles)



איור 3: מיקומן של הקבוצות הפונקציונליות של הצמחים: דגניים חד-שנתיים (Ann. Graminaeae), עשבוניים חד-שנתיים (Annual herbs), מטפסים (Climbing plants), בני-שיח (Dwarf shrubs), דגניים רב-שנתיים (Per. Graminaeae), עשבוניים רב-שנתיים (Perennial herbs) ועצים (Tree saplings), המסומנים כווקטורים במישור האורדינציה הקנונית (RDA) יחסית למיקומם של טיפוס הכתם: עשבוני (Herbaceous) ומעוצה (Woody) ושל טיפולי הרעיה (Grazing) והכריתה (Removal) (מסומנים כמשולשים)

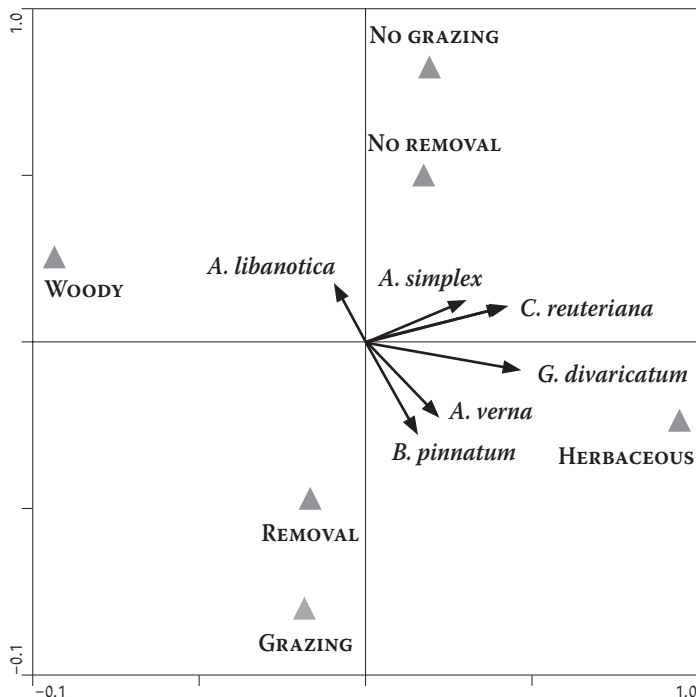
Figure 3: Location of the plant functional types: Ann. Graminaeae, Per. Graminaeae, Annual herbs, Perennial herbs, Climbing plants, Dwarf shrubs and Tree saplings, marked as vectors on the canonic ordination plane (RDA), relative to the location of the patch-types: Woody and Herbaceous, and the treatments: Grazing, Removal (marked as triangles)



הפונקציונליות השונות. הנוכחות של כל המינים העשבוניים הייתה נמוכה יותר בכתם המעוצה, תוצאות התואמות את הממצאים הקודמים לגבי חורש באקלים ים-תיכוני (Holzapfel et al., 2006). כצפוי, הייתה לכתם המעוצה השפעה חיובית על המטפסים ונבטי העצים (איור 3). הנוכחות הגבוהה של כל קבוצות העשבוניים בכל החלקות הכרותות בכתם המעוצה לעומת החלקות הבלתי כרותות (עם ובלי רעייה), נובעת מההסרה של חופת העץ שהייתה מחסום פיזי ליחידות הפצה ומכמות האור שגדלה. הגורמים האלה לא השפיעו כנראה על הכתם העשבוני ולכן לא הייתה בו השפעה של הטיפולים על העשבוניים החד-שנתיים. לרעייה הייתה השפעה שלילית מובהקת על כלל העשבוניים החד-שנתיים, אולם אך ורק בחלקות הכרותות, כנראה בגלל העדפתם על ידי הבקר שנמשך במיוחד לרעות בחלקות האלו. שנה לאחר הכריתה ניתן להבחין בירידה דרסטית במספר נבטי העצים, שמרביתם היו של אלון מצוי, בכתם המעוצה בחלקות הכרותות. הסיבה לכך היא

איור 5: מיקומם של המינים הנדירים בישראל: אליסון פשוט (*Alyssum simplex*), ארביס אביבי (*Arabis verna*), דבקה מפשקת (*Galium divaricatum*), חספסנית הלבנון (*Asperula libanotica*), ניסנית כינורית (*Crepis reuteriana*) ועוקצר מנוצה (*Brachypodium pinnatum*), מסומנים כווקטורים במישור האורדינציה הקנונית (RDA) יחסית למיקומם של טיפוס הכתם: עשבוני (Herbaceous) ומעוצה (Woody) ושל טיפולי הרעייה (Grazing), ללא רעייה (No grazing), כריתה (Removal) וללא כריתה (No removal) (מסומנים כמשולשים)

Figure 5: Location of the rare plant species (in Israel): *Alyssum simplex*, *Arabis verna*, *Asperula libanotica*, *Brachypodium pinnatum*, *Crepis reuteriana* and *Galium divaricatum* (marked as vectors) on the canonic ordination plane (RDA), relative to the location of the patch-types: woody and herbaceous, and the location of the treatments: Grazing, No grazing, Removal and No removal (marked as triangles)



(*pinnatum*) הראו נטייה לחלקות כרותות עם רעייה ולעומתם אליסון פשוט (*Alyssum simplex*) וניסנית כינורית (*Crepis reuteriana*) נטו לחלקות בלתי כרותות ללא רעייה.

דיון

בהתאם להשערות המחקר, לטיפוס הכתם ולכריתה היו השפעות מובהקות על עושר המינים (ES) (איור 1, טבלה 1). אולם ההשפעה העיקרית הייתה של האינטראקציה שבין הכריתה לבין טיפוס הכתם (על פי ערכו של הסטטיסטי F בטבלה 1), זאת מכיוון שההשפעה של טיפוס הכתם על ערכי ES באה לידי ביטוי אך ורק בחלקות שלא נכרתו וההשפעה של הכריתה באה לידי ביטוי אך ורק בכתם המעוצה. הסיבה לכך היא המינים החדשים הרבים שחדרו לכתם המעוצה בעקבות כריתת העצים והגדילו בכך בצורה דרמטית את עושר המינים בכתמים האלו. בנוסף לאישוש ההיפותזות שלנו לפיהן עושר המינים בכתם המעוצה נמוך יותר מאשר בכתם העשבוני והכריתה תעלה את עושר המינים, התוצאות מראות לראשונה, שדי בפרק זמן קצר יחסית של כשנה וחצי לאחר כריתת העץ מעצב הנוף על מנת למחוק את ההשפעה המכרעת שהייתה לו על עושר המינים של הצומח העשבוני. ניתן ללמוד מכך על התפקיד המכריע של החופה בעיצוב הנוף על ידי הצמח המעוצה. לעומת זאת, בניגוד להשערת המחקר, לא נמצאה השפעה מובהקת של הרעייה על עושר המינים המוערך ES.

תוצאות המחקר מלמדות שלאחוז כיסוי העצים בשטח השפעה מכרעת על עושר המינים (ES) בסקאלה הרחבה של החלקה (1,000 מ"ר) שנה לאחר הטיפולים (טבלה 1). עושר המינים בכתם העשבוני בחלקות הרעייה והכריתה (GR) היה בקורלציה שלילית עם אחוז כיסוי העצים טרם הכריתה (איור 2). הסיבה לכך היא, שככל שאחוז כיסוי העצים בחלקה היה גבוה יותר, היו בה פחות כתמים עשבוניים ששטחם הכולל קטן יותר וזה בא לידי ביטוי בעושר המינים הנמוך יותר. מאותה סיבה הייתה עלייה במספר המינים עם העלייה באחוז הכיסוי טרם הכריתה בכתמים המעוצים בחלקות הכריתה ללא רעייה (איור 2). הקשר השלילי שבין עושר המינים לאחוז הכיסוי של העצים טרם הכריתה בכתם המעוצה בחלקות ללא כריתה ללא רעייה (איור 2) מוסבר בכך, שצמרות העצים מהוות כנראה מסנן יעיל, ישיר או עקיף, כנגד כניסת מינים מתוך מאגר המינים האזורי למאגר המקומי. כמו כן, לעצים השפעה על הכתמים העשבוניים שבשכנותם על ידי הצל שהם מטילים עליהם באופן חלקי בשעות שונות של היום, השפעה זו עולה ככל שאחוז כיסוי העצים גדל. התוצאות מתאימות להשערות המודל (Shachak et al., 2008) המייחס לעצים מעצבי הנוף השפעה על סינון המינים.

בהתאם להשערות המחקר, נמצאה השפעה דיפרנציאלית של סוג הכתם והטיפולים על אחוז הנוכחות של הקבוצות

בצמיחת העצים ולכך שישאר פתוח יותר לאורך זמן ארוך יותר. התוצאות מדגימות את החשיבות המכרעת שיש לחופה של העצים מעצבי הנוף בקביעת עושר המינים העשבוניים, לכן ניתן גם לשער שלאורך זמן תהייה לרעיית בקר השפעה חיובית על עושר המינים, בעיקר לאחר כריתה. על פי התצפיות בשטח ובהתאם לידע הקיים בנושא לא נראתה עדות להשפעה משמעותית של רעיית הבקר המתונה על החופה של העצים הבוגרים (פרבולוצקי ופולק, 2001). רק לחץ רעייה קיצוני וממושך של בקר מסוגל לגרום להקטנת החופה של העצים ולצמצום אחוז הכיסוי שלהם (Gutman et al., 2000). לסיכום, ניתן להסיק כי רעיית בקר יכולה להיות יעילה ככלי ממשקי לווטוס עושר המינים העשבוניים, בעיקר כאשר היא באה לאחר כריתה או גיזום דרסטי של העצים.

תוצאות המחקר מראות שעל מנת לשמור על מגוון ביולוגי יש חשיבות רבה לקיומם במקביל של כתמים עשבוניים ומעוצים זה לצד זה. בנוסף לכך, מצביעות התוצאות על ההשפעה הרבה שיש לטיפולים ממשקיים שונים על קיומם של צורות חיים שונות ושל מיני צמחים עשבוניים שונים ועל השימוש האפשרי בפעולות ממשק אלו לשמירה על המגוון הגבוה בכלל ועל שימור של מינים נדירים בפרט. תוצאות המחקר מחזקות את הגישה הדוגלת במדיניות של ממשק אקטיבי לשמירה על הטבע (Perevolotsky, 2005), על פיה יש צורך בשימוש מושכל ומגוון בטיפולי ממשק שונים כדי לשמור על המגוון הנופי, על השלבים הסוקצסיוניים השונים בהתפתחות הצמחים המעוצים ועל הדו-קיום של כתמים שונים זה לצד זה, כל זאת על מנת לשמר את המגוון הביולוגי הגבוה במערכת האקולוגית של חורש היס-תיכוני.

תודות

אנו מודים לקרן הלאומית למדע (ISF) וקרן אשכול של משרד המדע על מענקי המחקר שאפשרו ביצוע המחקר, לחוג לביולוגיה אבולוציונית וסביבתית בפקולטה למדעים והוראתם, אוניברסיטת חיפה שבמסגרתו בוצע המחקר, לאמיתי אהרוני על עזרתו בהקמת חלקות המחקר ולפרופ' אבי שמידע על עזרתו בהגדרת הצמחים.

מקורות

- אגרא, ה' (2007). צמחים מעוצים כמעצבי נוף והשפעתם על הצמחייה העשבונית בחורש היס-תיכוני. תזה להשלמת החובות לתואר מוסמך, החוג לביולוגיה אבולוציונית וסביבתית, הפקולטה למדעים והוראתם, אוניברסיטת חיפה.
- דנין, א' (1998). צמחייה ברורה בארץ ישראל ותפוצתם. ירושלים: הוצאת כרטא.
- עוז, א' ודפני, א' (1991). השפעת פתיחת החורש על משטר הפריחה של השושן הצחור בכרמל. המכון לחקר חיפה והגליל, חוברת כנס מס' 6 – כנס מחקרי כרמל II, חיפה: הוצאת אוניברסיטת חיפה.

שזרעי העצים אינם נוכחים בבנק הזרעים בקרקע משום שהם קצרי ימים או שהם נטרפים על ידי אוכלי זרעים, לכן הנביטה שלהם היא בעיקר מיחידות הפצה של העונה האחרונה ובנוסף לכך תפוצתם במרחב כנראה מוגבלת. לירידה בנוכחות נבטי העצים יכולות להיות סיבות נוספות שאינן קשורות לטיפול, כמו כושר תחרות נמוך עם העשבוניים ששלטו בכתם החדש שנוצר לאחר הכריתה או שרידות נמוכה של הזרעים או הנבטים בכתם החדש. הקבוצה השנייה בעלת נוכחות גבוהה בכתם המעוצה הייתה המטפסים שנוכחותם לא הושפעה מהכריתה (איור 3). הקשר המרחבי בין מיקום המטפסים והכתם המעוצה יכול להיות מוסבר על ידי הפירות העסיסיים שיש למרבית המטפסים, אשר מופצים על ידי ציפורים שמרביתן שוכנות על העצים (Izhaki et al., 1991). לרעייה הייתה השפעה שלילית על נוכחות המטפסים (איורים 3, 4) ולכך כמה הסברים אפשריים: ייתכן שהמטפסים הם מזון מועדף על ידי הבקר, או שבגלל המבנה המורפולוגי של המטפסים ניצני ההתחדשות שלהם נפגעים על ידי הבקר בתדירות גבוהה מאוד, דבר הגורם לתמותה של מטפסים (Hadar, Noy-Meir & Perevolotsky, 1999; Lavorel, McIntyre & Grigulis, 1999).

המינים הנדירים הושפעו באופן דיפרנציאלי מטיפוס הכתם והטיפולים השונים, כלומר הם בעלי נישות ייחודיות. כך, למשל, לאליסון פשוט נוכחות גבוהה יותר בכתם העשבוני בחלקות ללא רעייה וללא כריתה. לעוקצר מנוצה ולארביס אביבי נטייה לנוכחות גבוהה בכתם עשבוני בחלקות הכרותות עם רעייה ולחספסנית הלבנון נוכחות גבוהה יותר בכתם המעוצה (איור 5).

סיכום ומסקנות

תוצאות המחקר מדגימות בצורה חד-משמעית את ההשפעה הרבה של העצים ירוקי-העד על עושר מיני הצמחים העשבוניים בחורש היס-תיכוני. ההשפעה הברורה של כריתת מעצבי הנוף על עושר מיני הצמחים העשבוניים מאשרת את ההיפותזה, כי את ההשפעה העיקרית של העצים ירוקי-העד על העשבוניים בחורש היס-תיכוני ניתן להסביר באמצעות מנגנונים הקשורים בחופת העץ, כמו: סינון קרינת השמש, סינון יחידות ההפצה של עשבוניים, כיסוי הקרקע ולא על ידי תחרות שורשים (Callaway & Walker, 1997), או העשרת הקרקע בחומר אורגני (Muñoz, Zagal & Ovalle, 2007).

תוצאות המחקר לא מאפשרות לענות באופן חד-משמעי על השאלה האם ההשפעה העיקרית של הרעייה על עושר המינים העשבוניים היא ישירה על ידי אכילה ורמיסה או עקיפה דרך השפעתם על העצים מעצבי הנוף. עם זאת, לרעייה הייתה השפעה מובהקת על גודל החופה המתחדשת של העצים מעצבי הנוף (אגרא, 2007), לכן ניתן לצפות כי רעיית בקר בינונית תשפיע על שטח שעבר כריתה ותגרום לעיכוב

- Lavorel, S., McIntyre, S. & Grigulis, K. (1999). Plant response to disturbance in a Mediterranean grassland: How many functional groups? *Journal of Vegetation Science*, 10:661–672.
- Médail, F. & Quézel, P. (1999). Biodiversity Hotspots in the Mediterranean basin: Setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13:1510–1513.
- Mittermeier, R.A., Myers, N., Thomsen, J.B., da Fonseca, G.A.B. & Olivieri, S. (1998). Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology*, 12:516–520.
- Muñoz, C., Zagal, E. & Ovalle, C. (2007). Influence of trees on soil organic matter in Mediterranean agroforestry systems: An example from the 'Espinal' of central Chile. *European Journal of Soil Science*, 58:728–735.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853–858.
- Ne'eman, G. (2003). To be or not to be – the effect of nature conservation management on flowering of *Paeonia mascula* (L.) Miller in Israel. *Biological Conservation*, 109:103–109.
- Noy-Meir, I. & Kaplan, D. (2002). Species richness of legumes in relation to grazing in Mediterranean vegetation in northern Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, 50:95–109.
- Perevolotsky, A. (2005). Integrating landscape ecology in the conservation of Mediterranean ecosystems: The Israeli experience. *Israel Journal of Plant Sciences*, 53:203–213.
- Pickett, S.T.A. & Cadenasso, M.L. (1995). Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science*, 269:331–334.
- Shachak, M., Gosz, J. & Pickett, S.T.A. (2005). Species diversity and ecosystem processes in water limited systems. In: Shachak, M., Gosz J., Pickett S.T.A. & Perevolotsky, A. (Eds.). *Biodiversity in Drylands: Towards a Unified Framework*. Oxford: Oxford University Press.
- Shachak, M., Boeken, B., Gruner, E., Kadmon, R., Lubin, Y., Meron, E., Ne'eman, G., Perevolotsky, A. & Shkedy, Y. (2008). Woody species as landscape modulators and biodiversity patterns (*BioScience*, 58:209–221).
- Sternberg, M., Gutman, M., Perevolotsky, A. & Kigel, J. (2003). Effects of grazing on soil seed bank dynamics: An approach with functional groups. *Journal of Vegetation Science*, 14:375–386.
- ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P. (1998). *CANOCO 4*. Microcomputer Power, Ithaca, New York.
- Zohary, M. & Feinbrun-Dothan, N. (1966–1986). *Flora Palaestina*. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem.
- פינברון-דותן, נ' ודיני, א' (1991). המגדיר לצמחי-בר בארץ ישראל. ירושלים: הוצאת כנה.
- פרבולוצקי, א' ופולק, ג' (2001). אקולוגיה – התיאוריה והמציאות הישראלית. ירושלים: הוצאת כרמל.
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D. & Schmid, B. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9:1146–1156.
- Box, E.O. (1996). Plant functional types and climate at global scale. *Journal of Vegetation Science*, 7:309–320.
- Callaway, R.M. & Walker, L.R. (1997). Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78:1958–1965.
- Carmel, Y. & Kadmon, R. (1999). Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology*, 145:243–254.
- Colwell, R.K. (2005). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Persistent URL. <purl.oclc.org/estimates>
- Díaz, S., Lavorel, S., McIntyre, S., Falczuk, V., Casanoves, F., Milchunas, D.G., Skarpe, C., Rusch, G., Sternberg, M., Noy-Meir, I., Landsberg, J., Zhang, W., Clark, H. & Campbell, B.D. (2007). Plant trait responses to grazing – a global synthesis. *Global Change Biology*, 13:313–341.
- Gutman, M., Henkin, Z., Holzer, Z., Noy-Meir, I. & Seligman, N.G. (2000). A case study of beef-cattle grazing in a Mediterranean-type woodland. *Agroforestry Systems*, 48:119–140.
- Hadar, L., Noy-Meir, I. & Perevolotsky, A. (1999). The effect of shrub clearing and grazing on the composition of a Mediterranean plant community: functional groups versus species. *Journal of Vegetation Science*, 10:673–682.
- Hector, A. & Bagchi, R. (2007). Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature*, 448:188–190.
- Holzappel, C., Tielbörger, K., Parag, H.A., Kigel, J. & Sternberg, M. (2006). Annual plant-shrub interactions along an aridity gradient. *Basic and Applied Ecology*, 7:268–279.
- Izhaki, I., Walton, P.B. & Safriel, U.N. (1991). Seed shadows generated by frugivorous birds in an eastern Mediterranean scrub. *The Journal of Ecology*, 79:575–590.
- Jones, C.G., Lawton, J.H. & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69:373–386.
- Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J. & Forbes, T.D.A. (1997). Plant functional classifications: From general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology & Evolution* 12:474–478.