



# ניטור ארוך טווח של צומח עשבוני ברמת הנדיב

דו"ח מסכם 2003-2018

ד"ר קרלי גולודיאץ

מרס 2019

## הקדמה:

הצומח ברמת הנדיב אופייני למערכת אקולוגית ים-תיכונית המורכבת מצומח עשבוני ומעוצה. הצומח המעוצה מהווה איום על נוכחות הצומח העשבוני ולכן נדרשת התערבות באמצעות ניהול אקטיבי (ממשק) כדי לצמצם את כיסוי הצומח המעוצה ולעודד חברת צומח עשירה. הרעייה, ככלי ניהולי, משנה את היחס בין הצומח המעוצה (לרוב שיחים) לצומח העשבוני. כאשר לחץ הרעייה גבוה, כיסוי המעוצים מצטמצם ונוצרת הזדמנות למינים המותאמים לרעייה (לרוב העשבוניים) להתבסס ולהגדיל את חלקם היחסי בחברה. בנוסף, הדינמיקה של הצומח תלויה קנה-מידה וגם מפגינה שונות רבה לאורך זמן. במטרה לעודד מגוון ביולוגי ונופי עשיר, נעשה שימוש בכלי ממשק שונים המסייעים להאט תהליכי הסוקצסיה. הכלי העיקרי הוא רעיית בקר מבוקרת, אשר גם משמשת כלי למניעת שריפות. בנוסף, הוחלה רעיית עיזים באזורים מסויימים. בין 2003 ל-2008 הוקם בהדרגה ברמת הנדיב מערך של חלקות למחקר אקולוגי ארוך-טווח (Long-Term Ecological Research - LTER) במטרה לעקוב אחר מצב המערכת האקולוגית בפארק ולתמוך בממשק אשר ישמר את המגוון הביולוגי המקומי בצורה הטובה ביותר.

מטרת דו"ח זה הינה לנתח את הנתונים שהצטברו מאז הקמת מערך ניטור הצומח העשבוני בפארק, במטרה ללמוד את הקשר בין מגוון והרכב הצומח לגורמי האתר, ממשק הרעייה והשנה, ולבחון את המידה שבה יכול מגוון מיני הצמחים לשמש ככלי ניהול מעשי:

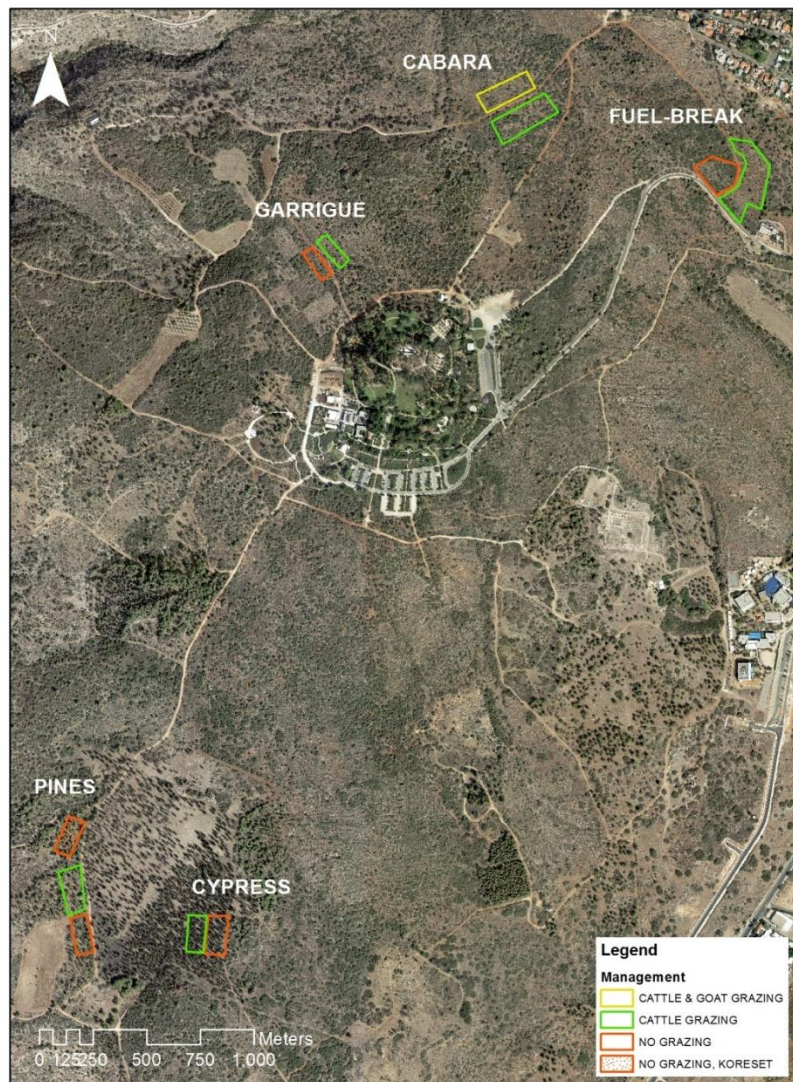
- א) מהי המשמעות של שימור בהקשר של הרכב מינים המשתנה באופן תדיר בזמן?  
ב) האם מינים הם יחידות שימור הולמות? ומתוך כך – מהם יעדי הממשק בפארק ואיזה מצב מן הראוי לשמר?

בעבר נותחו הנתונים שנאספו משנת 2003 עד שנת 2008 לפי המידע המוצג בטבלה 1 ותוצאות הניתוח פורסמו על-ידי הדר וחובריה (2013) בספר "ממשק ושימור האקוסיסטמה הים תיכונית: רמת הנדיב כמשל" (עורך: אבי פרבולוצקי), אשר מציג את המחקרים ברמת הנדיב. דו"ח זה מסכם ניתוח של הנתונים שנאספו בשנים 2003-2018 (פירוט מועדי הדיגום המדויקים והחלקות מופיעים **בטבלה 1**).

## שיטות:

חלקות ה-LTER הוקמו ברחבי פארק הטבע של רמת הנדיב בכדי לתת ביטוי למירב ההטרוגניות המרחבית בהרכב הצומח של הפארק (ראה **איור 1**). לצורך כך הוקמו חלקות בכל אחד מחמישה אתרים הכוללים בתי גידול טבעיים (אזור החיץ, הגריגה [בית הגידול הטיפוסי למערכת הטבעית המקומית], הכבארה) ובתי גידול נטועים (חורשת הברושים, חורשת האורנים). כדי לבחון את השפעת הרעייה על הצומח, הוקמו שתי חלקות בכל אתר – אחת הנתונה לרעיית בקר והשנייה מוגנת מרעייה ומוגדרת כחלקת ביקורת (זאת למעט באתר הכבארה, בה לא הוקמה חלקת ביקורת, אלא חלקה הנתונה להשפעה משולבת של רעיית בקר ועיזים). הגודל של כל חלקה (המיצגת שילוב של אתר וטיפול) נע בין 3.2 ל-4.0 דונמים. הצומח נדגם בשיא הצמיחה, באביב (מרס-אפריל), לפני כניסת הבקר לחלקות הרעייה. הדיגום בוצע בריבועים בגודל 50X50 ס"מ הממוקמים לסירוגין בצדם הימני של שישה חתכי רוחב קבועים באורך 25 מטר הפרוסים בחלקה המנוטרת (150 ריבועים בכל חלקה). המרחק בין החתכים היה כעשרה מטרים. בשנת 2012 בעת הדיגום נמצאו עצי אורן רבים מתים בחורשת האורנים. בהתאם לכך, בוצע דילול מסיבי של עצי אורן מתים מהחלקות בחורשת האורנים בשנת 2013, תוך כדי הקפדה על דגם פיזור דומה של העצים בשתי החלקות. במקביל עלה החשש מהפגיעה של פעולת הדילול והוחלט לעקוב גם אחרי הצומח באתר זה ללא דילול העצים, והוקמה חלקת LTER נוספת בשם "קורסת", בשטח שהיה נתון לרעיית בקר עד אותה שנה. בשנת 2016 מתו כל עצי הברוש בחורשת הברושים והם סולקו מהשטח. באותה שנה, התמלאה חלקת הרעייה באתר זה בצמחי סרפד ולא נדגמה (הדר ל., תקשורת אישית).

**איור 1.** מיקום חלקות ה-LTER לניטור ארוך-טווח של הצומח, פארק הטבע רמת הנדיב: אזור החיץ (Fuel-break), הגריגה (Garrigue), הכבארה (Cabara), חורשת האורנים (Pines) וחורשת הברושים (Cypress).



הניתוח של הדר וחובריה (2013) בחן את הצומח בשלוש רמות: רמת המין, רמת הקבוצות התפקודיות ורמת החברה (עושר ומגוון מינים והרכב הצומח). הניתוח בוצע בארבעה כיוונים שונים:

- א) ניתוח תיאורי ברמת המינים, במטרה לבחון דפוסים של מינים נפוצים ונדירים
- ב) ניתוחי שונות שתוכננו לבחון את ההשפעות הנפרדות של השנה, הטיפול (רעייה) והאתר על עושר ומגוון המינים והקבוצות התפקודיות. לא היה ניתן לבחון השפעות משולבת מכיוון שהמערך נבנה באופן הדרגתי בין השנים 2003 ו-2008.
- ג) ניתוחי אורדינציה על מנת לבחון הבדלים בהרכב הצומח בין אתרים/טיפולים/שנים
- ד) בחינת יציבות המינים בזמן

הניתוח הנוכחי בוצע על הנתונים מהניתוח של הדר וחובריה (2013: שנים 2003 – 2008) בתוספת נתונים מהשנים 2009, 2010, 2012, 2014, 2016 ו-2018. הניתוח בוצע בתכנת R (R Core Team 2015), תכנה

חינמית, רב-תכליתית הנמצאת בשימוש נרחב ביותר במחקר האקולוגי העכשווי, ואשר ניתן לבצע בה את מירב הניתוחים הרצויים לנו. לצד הדו"ח מוגשים הקודים שנכתבו לשימוש בתכנת R, לצורך מניפולציה של הנתונים וביצוע הניתוחים הסטטיסטיים הנדרשים. בנוסף לשימוש ב-R, נעשה שימוש בתכנת Excel להכנת קבצים ועיבוד תוצאות מסוימות, כמו ניהול רשימות המינים ושינוי לקבוצות תפקודיות, וכן הכנת הגרפים המוצגים בדו"ח. כל המניפולציות של הנתונים טרום ביצוע הניתוחים השונים נעשו ב-R באמצעות פונקציות המותקנות יחד עם R (base) ופונקציות בחבילות plyr (Wickham 2011), dplyr (Wickham et al. 2018) ו-reshape2 (Wickham 2007). בנוסף, נעשה שימוש בפונקציה ggplot2 (Wickham 2009) לצורך בניית איור 3א.

הניתוח הנוכחי בוצע לפי המתכונת של הניתוח של הדר וחבריה (2013) עם מספר שינויים (המצוינים בתיאור להלן):

ניתוח תיאורי ברמת המינים - דפוסים בקרב המינים הנפוצים ביותר ובקרב המינים הנדירים ביותר, בטיפולים השונים ובאתרים השונים.

ניתוחי שונות (ANOVA עם מבחן Tukey פוסט הוק) - המתבססים על ערכי עושר ומגוון מינים, וכן על תדירות הופעתן של קבוצות תפקודיות שהוגדרו מראש. בניתוח המקורי נעשה שימוש במדדים מסורתיים למגוון מינים – מדד Shannon ומדד Simpson. בניתוח הנוכחי החישובים של עושר ומגוון מינים נעשו בגישה של ערכי q של Hill, המקשרים בין עושר המינים והשוויוניות (Hill 1973) כך שמגוון המינים מיוצג באופן המאפשר השוואות בין חברות הצומח למרות ההבדלים בערכי עושר המינים והתרומות היחסיות של מינים שונים. הנוסחה לחישוב ערכי מגוון המינים ( ${}^qD$ ) מופיעה להלן:

$${}^qD = [\sum_{i=1}^S | \sum p_i^q w_j ]^{1/(1-q)}$$

לכל המינים מ- $i$  עד- $S$ , כאשר  $p_i$  מייצג את התרומה היחסית של מין  $i$  בדגימה  $j$ ,  $w_j$  מייצג את משקל הדגימה (ששווה ל-1 עבור כל הדגימות בניתוח הנוכחי), ו- $q$  מייצג 'דרגה' הקובעת את הרגישות של המדד למינים נפוצים לעומת נדירים (Jost 2007).

כאשר  $q=0$  ערך המדד שווה לעושר המינים עצמו (ואז ניתן משקל גבוה יותר למינים הנדירים), כאשר  $q=1$  המדד שווה לאנטי-לוגריתם של מדד Shannon למגוון מינים (ואז ניתן משקל שווה למינים הנפוצים והנדירים), וכאשר  $q=2$  המדד שווה לאנטי-לוגריתם של מדד Simpson למגוון מינים (והפעם המשקל ניתן למינים הנפוצים בחברה). להלן, התייחסות לשני האחרונים כ"מגוון Shannon" ו-"מגוון Simpson", בהתאמה. בדו"ח זה תוצגנה תוצאות של עושר מינים ומגוון Simpson בלבד, מכיוון שהתוצאות של מגוון Shannon ומגוון Simpson היו זהים. חישוב ערכי q נעשה באמצעות פונקציות Renyi בחבילת vegan (Oksanen et al. 2015) – חבילה הכוללת שלל פונקציות לניתוח נתונים אקולוגיים. נעשה שימוש ב-חבילת vegan דרך חבילת BiodiversityR (Kindt&Coe 2005), חבילה המאגדת מספר חבילות יחד, כדי לאפשר מניפולציה של הנתונים האקולוגיים, ניתוחים סטטיסטיים שונים והצגה גרפית של התוצאות. הקבוצות התפקודיות הוגדרו מראש לפי הדר וחבריה (2013): דגנים חד-שנתיים, מורכבים, מטפסים, מצליבים, דו-פסיגיים נוספים, גיאופיטים, קטניות, דגנים רב-שנתיים, עצים ושיחים וסוככיים. קבוצת הצמחים הטפילים שהוגדרה כקבוצה חדשה לא נכללה בניתוח עקב מיעוט נתונים.

כל ניתוחי השונות בוצעו ברמת החתך. כאמור לעיל, ניתוחי השונות המקוריים בחנו כל ציר של שונות (אתר, טיפול, שנה) בנפרד מפאת חוסר בחזרות, פועל יוצא של המבנה הכתמי של השטח. **טבלה 1** מציגה את דיגום הצומח לאורך השנים באתרים השונים. בוצעו שני ניתוחים:

א. ניתוח שכלל ארבעה אתרים (חורשת האורנים, חורשת הברושים, אזור החיץ וגריגה) בחמש שנים (2006, 2008, 2010, 2012 ו-2014) ובשני טיפולים (ביקורת, רעייה). המודל נבנה כדלהלן:

$$Y = \text{treatment} * \text{year}(\text{site})$$

כאשר השנה היא בבחינת מדידות חוזרות בתוך כל אתר, והחזרה לצורך הניתוח היא החתך (סכום הנתונים מכל הריבועים לאורך כל חתך) ולא הריבוע. הניתוח בוחן את ההשפעות של האתר, הטיפול, השנה כמקוננת בתוך הטיפול והאינטרקציות הבאות: טיפול X אתר וטיפול X שנה (בתוך אתר). מטרת ניתוח זה הינה לבחון את ההשפעות המשולבות של הגורמים השונים, היות שכבר נאספו די נתונים בכדי לאפשר ביצוע של ניתוח כזה.

ב. ניתוח שכלל את כל חמשת האתרים בשלוש השנים: 2008, 2010, 2012. המודל נבנה כדלהלן:

$$Y = \text{year}(\text{site})$$

כאשר השנה היא בבחינת מדידות חוזרות בתוך כל אתר, והניתוח בוחן את ההשפעות של האתר והשנה כמקוננת בתוך האתר. מטרת הניתוח היא לבחון את השינויים בעושר ומגוון מינים עם תוספת אתר הכבארה.

מכיוון שעושר המינים ותדירויות הקבוצות התפקודיות בכל חתך מוגדרים כ-integer (לעולם מספר שלם, המתקבל מסכום הופעות המינים (או המינים בקבוצה מסוימת) לאורך החתך), המודל השתמש בפונקציית glm המאפשרת לשנות את ההתפלגות לפי אופי הנתונים. במקרה הנדון, נעשה שימוש/נבחרה בהתפלגות פואסונית (Poisson) המאפיינת התפלגויות של ספירות, במקום בהתפלגות נורמאלית (Gaussian). עבור המשתנים האחרים (מגוון Shannon, מגוון Simpson), המודל השתמש בהתפלגות נורמאלית שהיא ברירת המחדל של הניתוח. המשתנה "year" מזוהה ב-R כמשתנה מספרי רציף, ולכן הוספה הפונקציה "as.factor" כדי ש-R יזהה אותו כפקטור בדיד. ניתוחי שונות בוצעו באמצעות פונקציית aov מפונקציות הבסיס של R.

הניתוח הנוכחי כלל הרבה השוואות זוגיות מסוג Tukey, ולכן נעשה שימוש בתיקון Bonferroni לקביעת ערך P למובהקות של מבחן בודד, כדי לשמור על רמת מובהקות כללית של 5% כדלהלן: 0.05 חלקי מספר הרמות של הגורם (או המכפלה של מספר הרמות של כל גורם באינטרקציה). ערכי P המתוקנים מוצגים לפני התוצאות של כל ניתוח שונות.

# טבלה 1. דיגום הצומח לאורך השנים באתרים השונים

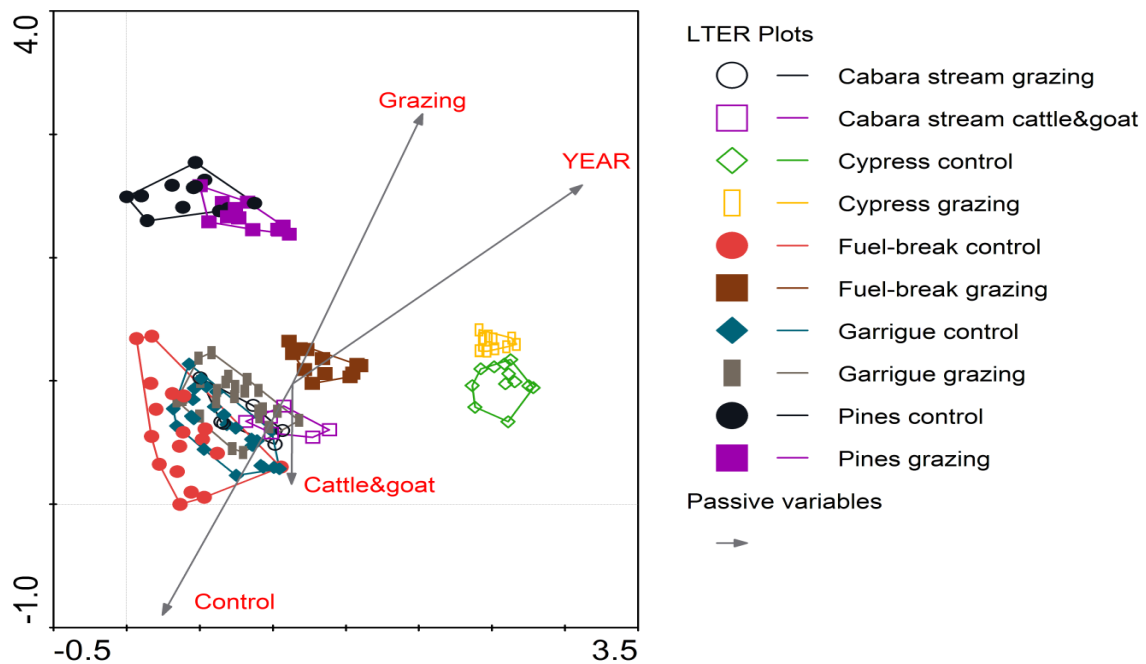
| שנה  | אתר       |     |              |     |       |              |     |          |     |       |
|------|-----------|-----|--------------|-----|-------|--------------|-----|----------|-----|-------|
|      | כבארה     |     | חורשת אורנים |     |       | חורשת ברושים |     | אזור חיץ |     | גריגה |
|      | בקר ועזים | בקר | ביקורת       | בקר | קורסת | ביקורת       | בקר | ביקורת   | בקר | בקר   |
| 2003 |           |     |              |     |       |              |     | *        |     |       |
| 2005 |           |     |              |     |       |              |     | *        | *   |       |
| 2006 |           |     | *            | *   |       | *            | *   | *        | *   | *     |
| 2008 | *         | *   | *            | *   |       | *            | *   | *        | *   | *     |
| 2009 |           |     |              |     |       |              |     |          |     | *     |
| 2010 | *         | *   | *            | *   |       | *            | *   | *        | *   | *     |
| 2012 | *         | *   | 1*           | 1*  |       |              |     |          | *   | *     |
| 2014 |           |     | 2*           | 2*  | 2*    |              |     | *        | *   | *     |
| 2016 | *         | *   | *            | *   | *     | 3*           | 3,4 | *        | *   | *     |
| 2018 | *         | *   | *            | *   | *     | *            | *   | *        | *   | *     |

<sup>1</sup>עצי אורן רבים מתים. <sup>2</sup>שנה אחרי דילול מאסיבי של החורשה לצורך סילוק העצים המתים. <sup>3</sup>בשנה זו סולקו כל הברושים בחורשת הברושים לאחר שכולם מתו מהתייבשות. <sup>4</sup>חלקה זו התמלאה צמחי סרפד לאחר סילוק הברושים ולא נדגמה בשנה זו.

אורדינציה. האורדינציה בוצעה ע"י NMDS (Non-Metric Multidimensional Scaling). ניתוח מסוג NMDS אינו מחפש גרדיאנטים בנתונים אלא מנסה לסדר את הדגימות במרחב בצורה שמצמצמת את הפער ("stress") בין המתאם בין הנקודות (rank-order correlation) והמרחק ביניהן במרחב האורדינציה. כל הרצה של הניתוח נותנת קונפיגורציה אחרת. ב-R יש פונקציה בשם MetaMDS בחבילת vegan. לפני הניתוח, מבצעת טרנספורמציה שורש על הנתונים. להלן מהלך הניתוח: MetaMDS קוראת לפונקציה אחרת בשם monoMDS, שמריצה MDS מספר פעמים עד שמתקבלות שתי הרצות עוקבות עם "stress" זהה, כלומר, התכנסות לפתרון גלובלי. אם היא מגיעה להרצה ה-20 ועדיין לא מוצאת פתרון גלובלי, היא מציגה את ההרצה עם ה-"stress" הנמוך ביותר. כמו בניתוח של הדר וחבוריה (2013), האורדינציה בוצעה הן על קובץ הנתונים המלא במשך כל השנים, הטיפולים והאתרים, והן בנפרד לגבי נתוני הצומח העשבוני לעומת הצומח המעוצה. בניתוחים של הצומח המעוצה הוסרו הנתונים של מיני העצים הנטועים (אורן ירושלים וברוש מצוי) כדי לתת ביטוי להרכב של מיני תת-היער בלבד. לבסוף, בוצע הניתוח על חלקות הביקורת של אתר הגריגה לאורך השנים כדי לבחון את הכיוונויות של השינויים בהרכב המינים בחתכים השונים לאורך זמן.

ניתוח אשכולות. בכדי להבין יותר את ההשפעה של פעולות הממשק על הרכב הצומח, בוצע ניתוח אשכולות (Clustering). ניתוח אשכולות מקבץ את החזרות (חתכים, חלקות, בתי גידול וכו') לאשכולות לפי דימיון גבוה (או אי-דימיון נמוך) ביניהן. לפי שטית קיבוץ אשכולות (Hierarchical nesting (agglomerative clustering)), אשכולות קטנים מקובצים לאשכולות גדולים יותר בצורה הירארכית, לכדי יצירת מעין "עץ הפוך" (dendrogram). תוצאות ניתוח האשכולות משלימות את תוצאות האורדינציה ומאפשרות הבנה טובה יותר של החלוקה בין בתי גידול שונים. ניתוח האשכולות לדו"ח זה מתבצע ב-R ע"י שימוש בפונקציית agnes בחבילת cluster. לצורך הכנת מטריצת אי-דימיון (dissimilarity matrix), ניתן להשתמש בפונקציית vegdist מחבילת vegan. קיימות מספר פונקציות ליצירת מטריצת אי-דימיון, אך vegdist מציעה המבחר הגדול ביותר של מדדים של אי-דימיון, כל אחד בהתאם לסוג הנתונים. לצורך הניתוח הנוכחי, נבחר מדד Jaccard. יש לציין שקיימת אפשרות להתשמש בנתונים הגולמיים וליצור את המטריצה דרך agnes, אך agnes מציעה מספר קטן מאוד של מדדי אי-דימיון, ולכן נבחרה יצירת המטריצה ע"י vegdist. בוצע גם ניתוח אשכולות על המינים בניסיון להבין את הזיקה של מינים

לאתרים/לטיפולים השונים. לצורך ניתוחי האשכולות הוסרו המינים שהופיעו ב-4% או פחות חתכים, כדי לצמצם את ההשפעה של מינים נדירים ולהקל על הבנת התוצאות.



**איור 2.** DCA המציגה את השפעת האתר על הרכב המינים, מבוססת על מסד הנתונים השלם הכולל את אתרי הרעייה והביקורת מארבע שנות הדיגום 2003, 2005, 2006 ו-2008. המשתנים הפאסיביים הם שנת הדיגום, ביקורת, רעייה (בקר) ורעיית בקר ועיזים. כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת. האיור לקוח מהדר וחובריה (2013).

**יציבות המינים.** בוצע ניתוח יציבות שמאפשר לבחון את היציבות בתוך כל חלקה לאורך זמן. בשלב הראשון חושב מספר המינים הכללי לכל שנה משנות הדיגום (2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016 ו-2018), מספר המינים המשותף לכל שנת דיגום עם שנת הדיגום העוקבת ומספר המינים המשותף לכל שנות הדיגום. חזרה על פעולה זו בוצעה רק עבור שנות הדיגום בהן נדגמו כל החלקות בכל האתרים (2008, 2010, 2012, 2018). בשלב השני נבחנה יציבות המינים לאורך השנים בתוך חלקה. מכיוון שיש אינטרקציה בין הטיפול ובין האתר, בשלב השלישי נבחנה היציבות בכל חלקה וחלקה בנפרד. לצורך כך נכתבו קודים נוספים להכנת הקבצים הנדרשים. לצורך ביצוע ניתוח היציבות נעשה שימוש בפונקציות const מחבילת labdsv (Roberts 2016a) ובפונקציות compare מחבילת optpart (Roberts 2016b). שתי החבילות הללו, כמו BiodiversityR, כוללות שלל פונקציות למניפולציה וניתוח של נתונים אקולוגיים ברמת החברה. הפונקציה const מחשבת את אחוז ההופעות של כל מין בכל רמה של גורם מקבץ כלשהוא, כגון שנה, אתר, טיפול, או כל גורם אחר שיכול להשפיע על הרכב המינים. במקרה הנדון הגורם המקבץ היה שנה. הופעה const בנפרד עבור כל חלקה, כאשר "שנה" היתה הגורם המקבץ. לאחר מכן הופעלה הפונקציה compare שמשווה את אחוז ההופעות של כל מין בין שתי שנים עוקבות ומייצרת שלוש טבלאות – האחת של מינים עם אחוז הופעה גבוה ב-20% או יותר בשנה הראשונה, השניה של מינים עם אחוז הופעה גבוה ב-20% או יותר בשנה השניה והשלישית של מינים עם הפרש של פחות מ-20% באחוז ההופעה בין שתי השנים, כלומר, מינים יציבים.

## תוצאות:

### ניתוח תיאורי ברמת המינים:

מסד הנתונים לתקופה 2003 – 2018 מונה 10671 ריבועים ו-119772 הופעות של מינים, כלומר, ממוצע של 11.1 מינים לריבוע. מספר המינים שנדגמו בחלקות עלה ל-493 לעומת הניתוח של הדר וחבריה (2013) על התקופה 2003 – 2008 (362 מינים) וכלל עלייה במספר המינים של כל הקבוצות התפקודיות למעט דגניים רב-שנתיים. מספר המינים הכולל מהווה 75.5% של סה"כ המינים (653) שתועדו משנת 1985 ועד שנת 2018. מספר המינים המעוצים בבסיס הנתונים עמד על 42, המהווה 6.43% של סך כל המינים שתועדו בפארק, ונמצא ביחס של 1:11 עם הצומח העשבוני במסד הנתונים.

כאשר בוחנים את שיעור ההופעות של הקבוצות התפקודיות מול השיעור היחסי מבחינת מספר המינים, אנו רואים כי שיעור ההופעות של הקבוצות התפקודיות לא תמיד תואם לשיעור היחסי שלהן (**טבלה 2**). נציין כי מספר המינים בקבוצת עצים ושיחים נמוך ממספר המינים המעוצים מכיוון שחלק מהמינים המעוצים נכללו בקבוצת המטפסים. אצל חלק מהקבוצות שיעור ההופעות נמוך מהשיעור היחסי – טפילים, מצליבים, סוככים וקטניות – כנראה מכיוון שמינים אלה קטנים/נדירים יותר. לעומתן, בקבוצות אחרות שיעור ההופעות גבוה משיעור היחסי: מטפסים, ועצים ושיחים. תופעה זו נובעת כנראה מיכולתם של אותם מינים לתפוס שטח גדול יותר מפאת גודלם (עצים ושיחים) או יכולתם להתפשט במרחב (מטפסים).

**טבלה 2.** שיוך מיני הצמחים שנמצאו ברמת הנדיב במסגרת ניטור ארוך-טווח של צומח לקבוצות תפקודיות, כולל מספר המינים והשיעור היחסי של המינים בכל קבוצה (מבוסס על מסד הנתונים 2003-2018), וכן מספר ההופעות ושיעור ההופעות של כל קבוצה במסד הנתונים.

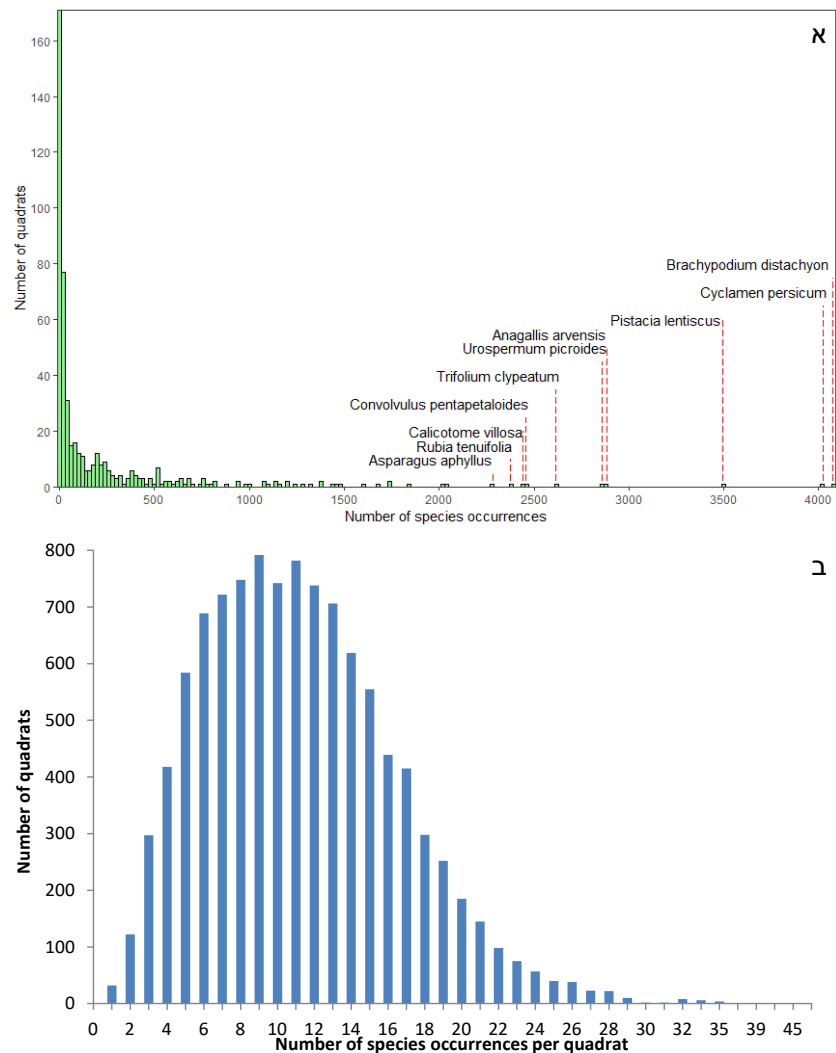
| קבוצה תפקודית     | מספר מינים | שיעור יחסי (%) | מספר הופעות | שיעור ההופעות (%) |
|-------------------|------------|----------------|-------------|-------------------|
| טפילים            | 6          | 1.2            | 22          | 0.02              |
| דגניים רב-שנתיים  | 13         | 2.6            | 2974        | 2.5               |
| מטפסים            | 16         | 3.2            | 9094        | 7.6               |
| מצליבים           | 20         | 4.1            | 2092        | 1.7               |
| סוככים            | 30         | 6.1            | 4345        | 3.6               |
| דגניים חד-שנתיים  | 36         | 7.3            | 10927       | 9.1               |
| עצים ושיחים       | 34         | 6.9            | 13078       | 10.9              |
| גיאופיטים         | 44         | 8.9            | 11883       | 9.9               |
| מורכבים           | 61         | 12.4           | 17522       | 14.6              |
| קטניות            | 77         | 15.6           | 13622       | 11.4              |
| דו-פסיגיים נוספים | 156        | 31.6           | 34213       | 28.6              |
| סה"כ              | 493        | 100            | 119772      | 100               |

מניין 25 המינים הנפוצים ביותר כולל את כל הקבוצות התפקודיות, למעט דגניים רב-שנתיים, מצליבים וטפילים. הרכב הרשימה שמר על יציבות יחסית לניתוח של הדר וחבריה (2013), עם 18 מינים משותפים בשני הניתוחים. יחד עם זאת, ניתן לראות עליות מרשימות של חלק מהמינים, לרוב עשבוניים חד-שנתיים, לדוגמא, *תלתן תריסני ומרגנית השדה*, וכניסה של מינים נוספים, לדוגמא, *שבולת שועל נפוצה וטרשנית שרועה*. במקביל, מספר מינים אחרים, לרוב צמחים רב-שנתיים (גיאופיטים, מעוצים, מטפסים, דגניים רב-שנתיים), ירדו ברשימה או יצאו ממנה, לדוגמא, *עירית גדולה*, *פואה מצויה*, ו*צבורת ההרים*. ייתכן ששינויים אלה נובעים מדילול חורשת האורנים בשנת 2014 וסילוקם של כל העצים בחלקת הברושים לאחר מותם. פתיחת הנוף מאפשרת כניסה של מינים שמעדיפים תנאים פתוחים יותר, לרוב, צמחים עשבוניים חד-שנתיים.

**טבלה 3.** 25 המינים הנפוצים ביותר ברמת הנדיב בשנים 2003–2018, שיוכם לקבוצות תפקודיות, מספר ההופעות (ריבועים שבהם הופיעו) ותדירותם היחסית (מס' הופעות חלקי מספר הריבועים שנדגמו [10671])

| שם המין                                          | קבוצה תפקודית     | מספר הופעות | תדירות יחסית (%) | המינים הנפוצים 2003–2014 | המינים הנפוצים 2003–2008 |
|--------------------------------------------------|-------------------|-------------|------------------|--------------------------|--------------------------|
| עוקצר מצוי<br><i>Brachypodium distachyon</i>     | דגניים חד-שנתיים  | 4075        | 38.2             | רקפת מצויה               | אלת המסטיק               |
| רקפת מצויה<br><i>Cyclamen persicum</i>           | גיאופיטים         | 4021        | 37.6             | אלת המסטיק               | רקפת מצויה               |
| אלת המסטיק<br><i>Pistacia lentiscus</i>          | עצים ושיחים       | 3496        | 32.8             | עוקצר מצוי               | פואה מצויה               |
| מרגנית השדה<br><i>Anagallis arvensis</i>         | דו-פסיגיים נוספים | 2882        | 27.0             | מרגנית השדה              | עוקצר מצוי               |
| אזנב מצוי<br><i>Urospermum picroides</i>         | מורכבים           | 2857        | 26.8             | אזנב מצוי                | קידה שעירה               |
| תלתן תריסי<br><i>Trifolium clypeatum</i>         | קטניות            | 2613        | 24.5             | חבלבל עדין               | אזנב מצוי                |
| חבלבל עדין<br><i>Convolvulus pentapetaloides</i> | דו-פסיגיים נוספים | 2454        | 23.0             | תלתן תריסי               | עירית גדולה              |
| קידה שעירה<br><i>Calicotome villosa</i>          | עצים ושיחים       | 2440        | 22.9             | פואה מצויה               | אספרג החורש              |
| פואה מצויה<br><i>Rubia tenuifolia</i>            | מטפסים            | 2377        | 22.3             | קידה שעירה               | מרגנית השדה              |
| אספרג החורש<br><i>Asparagus aphyllus</i>         | מטפסים            | 2285        | 21.4             | אספרג החורש              | חבלבל עדין               |
| חגוית שעירה<br><i>Valantia hispida</i>           | דו-פסיגיים נוספים | 2031        | 19.0             | חגוית שעירה              | חרחבינה מכחילה           |
| טרשנית שרועה<br><i>Theligonum cynocrambe</i>     | דו-פסיגיים נוספים | 2028        | 19.0             | טרשנית שרועה             | טמוס מזרחי               |
| שבולת-שועל נפוצה<br><i>Avena sterilis</i>        | דגניים חד-שנתיים  | 1836        | 17.2             | עירית גדולה              | שום שער                  |
| עירית גדולה<br><i>Asphodelus ramosus</i>         | גיאופיטים         | 1735        | 16.3             | טמוס מזרחי               | כוכבן מצוי               |
| טמוס מזרחי<br><i>Tamus orientalis</i>            | מטפסים            | 1732        | 16.2             | מרור הגינות              | לחך כרתי                 |
| מרור הגינות<br><i>Sonchus oleraceus</i>          | מורכבים           | 1686        | 15.8             | גרניון הארגמן            | חגוית שעירה              |
| אשחר ארץ ישראלי<br><i>Rhamnus lycioides</i>      | עצים ושיחים       | 1607        | 15.1             | אשחר ארץ ישראלי          | צבורת ההרים              |
| מרקולית מצויה<br><i>Mercurialis annua</i>        | דו-פסיגיים נוספים | 1488        | 13.9             | שום שער                  | צלבית ארוכת-שיבולת       |
| שום שער<br><i>Allium trifoliatum</i>             | גיאופיטים         | 1454        | 13.6             | לחך כרתי                 | אשחר ארץ ישראלי          |
| גרניון הארגמן<br><i>Geranium robertianum</i>     | דו-פסיגיים נוספים | 1432        | 13.4             | חרחבינה מכחילה           | קחווון מצוי              |
| זלזלת הקנוקנות<br><i>Clematis flammula</i>       | מטפסים            | 1385        | 13.0             | מרקולית מצויה            | תלתן תריסי               |
| לחך כרתי<br><i>Plantago cretica</i>              | דו-פסיגיים נוספים | 1375        | 12.9             | קחווון מצוי              | זלזלת הקנוקנות           |
| זנב-עקרב שיכני<br><i>Scorpiurus muricatus</i>    | קטניות            | 1319        | 12.4             | שררדיה מצויה             | כלנית מצויה              |
| קחווון מצוי<br><i>Anthemis pseudocotula</i>      | מורכבים           | 1284        | 12.0             | זלזלת הקנוקנות           | כלינית מצויה             |
| לחך בלוטי<br><i>Plantago afra</i>                | דו-פסיגיים נוספים | 1248        | 11.7             | שבולת-שועל נפוצה         | זנב-עקרב שיכני           |

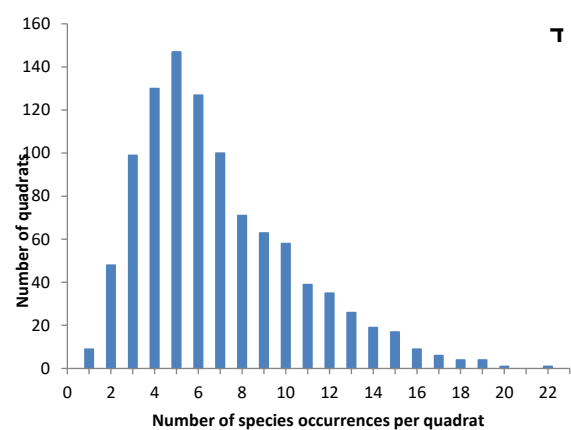
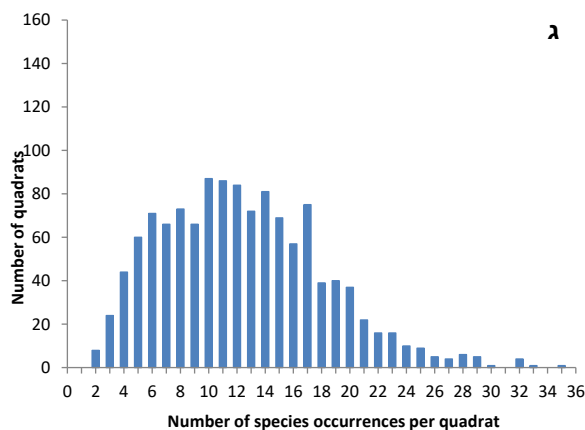
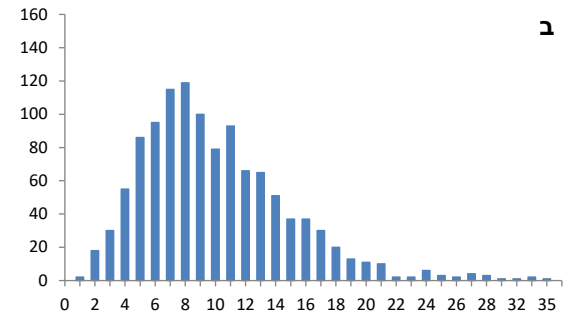
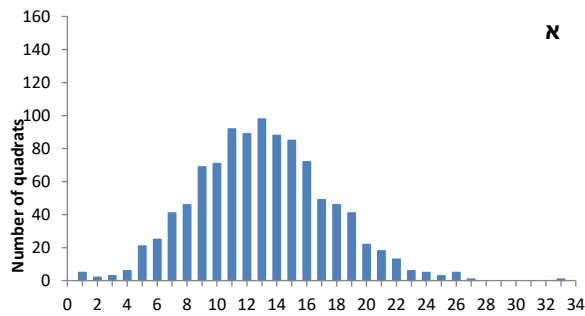
התפלגות תדירויות המינים ברמת ריבוע הדגימה מוצגת באיור 3. מספר המינים בריבוע (במסד הנתונים השלם) נע בין 1 ל-47, עם ממוצע של 11.2 מינים לריבוע. המין הנפוץ ביותר היה עוקצר מצוי, עם 4075 הופעות. נמצאו 34 מינים עם מעל 1,000 הופעות ו-70 מינים עם מעל 500 הופעות, המהווים 73% של כלל ההופעות (87403 מתוך 119772). מאידך, נמצאו 171 מינים עם 1-10 הופעות, מתוכם 35 מינים אשר נמצאו בריבוע אחד בלבד. בין 35 המינים הללו היו מספר מינים חדשים לסקר, כולל שלושה מינים מצויים בכרמל אך נדירים בשאר האזורים בארץ (טוריים קטנים) וברוב האזורים (איריס ארץ ישראלי [נדיר בצפון הארץ], כתרן זעיר-פרח [מצוי בכרמל ובגליל העליון]), אך נמצא גם מין אחד נדיר בכרמל (קורטם מכחיל), ועוד שמונה מינים אשר לא תועדו עד כה בכרמל לפי האתר "צמחיית ישראל ברשת" – חלקם מצויים באזורים אחרים (אשבל מופסק, זנב-כלב מצוי, פרג אגסי, קרנונית דביקה) וחלקם נדירים עד נדירים מאוד בארץ (חד-שפה מזרחי, צפורן חד-שנתי, צלע-שור אשונה, שעורה תרבותית). נוסף על אלה, תועד אורן קנרי – מין נפוץ ביערות נטועים בארץ.



**איור 3.** התפלגות תדירויות ברמת ריבוע הדגימה (0.5 X 0.5 מ'), מבוססת על מסד הנתונים השלם הכולל את אתרי הרעייה ואתרי הביקורת מ-10 שנות הדיגום.

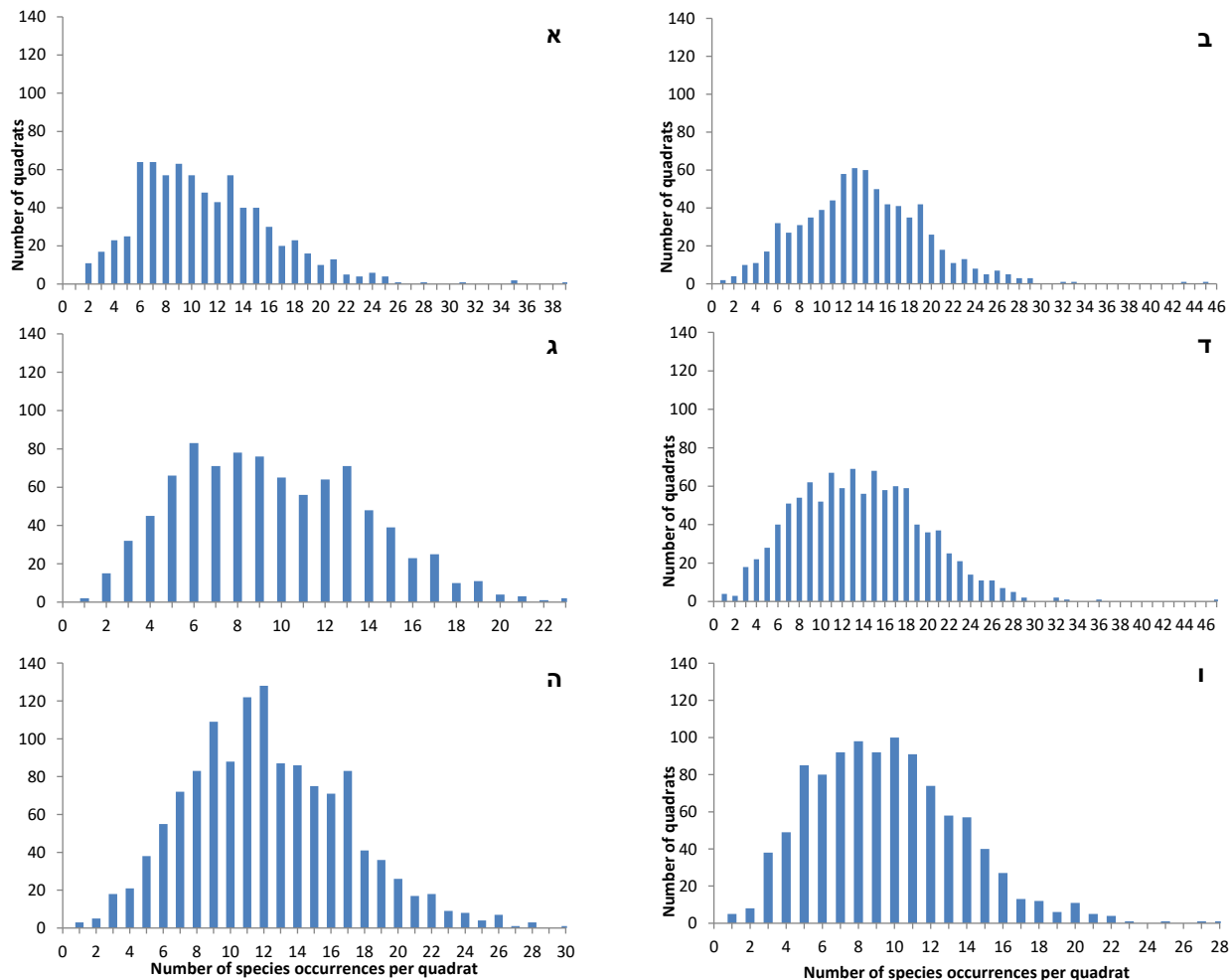
- א. התפלגות תדירויות המתייחסת למספר הפעמים שבהן הופיע המין במסד הנתונים.
- ב. התפלגות תדירויות של מספר המינים שנמצאו בריבוע דגימה. ממוצע = 11.2; חציון = 11; סטיית תקן = 5.27.

מהתפלגות תדירויות מספרי המינים בחלקות הביקורת (איור 4) אנו רואים תוצאות דומות לניתוח שלהדר וחובריה (2013), כאשר מספר המינים יורד לפי הסדר הבא: חורשת הברושים < גריגה < אזור החיץ < חורשת האורנים. נראה שהבדלים אלה נובעים מכמות הצל בבתי הגידול השונים – עצי אורן בחורשת האורנים וצמחי חורש באזור החיץ – ואילו בגריגה מעטים העצים ובחורשת הברושים עצי הברושים מטילים מעט מאוד צל. ככל שמתווספים נתונים עם השנים, צורת ההתפלגות מתקרבת יותר ויותר להתפלגות נורמלית אך המגמות נשארות ללא שינוי.

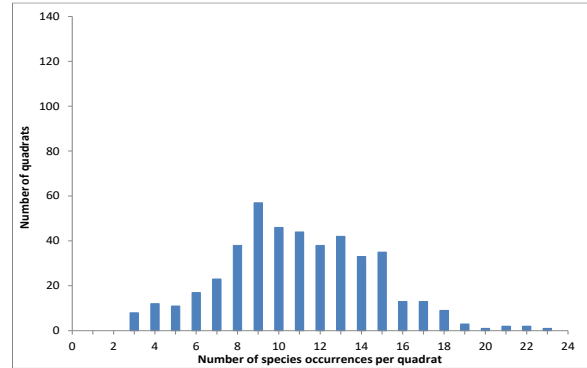


**איור 4.** התפלגות התדירויות של מספר המינים שהופיעו בריבוע דגימה בגודל  $0.5 \times 0.5$  מ' באתרים השונים. מבוססת על נתונים מחלקות הביקורת בלבד ומהשנים 2016, 2014, 2012, 2010, 2008, 2006, 2005, 2003, ו-2018. ממוצע וסטיית תקן לכל אתר: חורשת הברושים (א) –  $13.06 \pm 4.42$ , אזור החיץ (ב) –  $9.99 \pm 4.91$ , גריגה (ג) –  $12.41 \pm 5.70$ , חורשת האורנים (ד) –  $6.88 \pm 3.60$ .

מהתפלגות תדירויות מספרי המינים בחלקות הרעייה (איור 5) אנו רואים כי, כמו בניתוח של הדר וחובריה (2013), יש הבדלים בין צומח בחלקות הביקורת וצומח תחת רעייה. תחת רעייה, מספר המינים הממוצע לריבוע יורד בסדר הבא: כבארה בקר ועזים ואזור החיץ < גריגה < כבארה בקר < חורשת האורנים וחורשת הברושים. הבדל נוסף הבולט לעין הוא השינוי בהתפלגות מספרי המינים בין חלקות הביקורת לחלקות הרעייה בגריגה ובאזור החיץ – בשני האתרים ההתפלגות תחת רעייה יותר שוויונית לעומת ההתפלגות בביקורת. עוד נתון מעניין הוא שיש שתי מגמות שונות במספר המינים לריבוע בעקבות רעייה: באזור החיץ ובחורשת האורנים מספר המינים עולה, בחורשת הברושים מספר המינים יורד ובגריגה אין שינוי. עוד נתון מעניין הוא העובדה ש-12 מתוך 26 ריבועים בהם נמצאו 30 מינים או יותר לריבוע היו בחלקות הביקורת של אזור החיץ (5), גריגה (6) ו-חורשת הברושים (1) ואילו בחלקות הביקורת, 14 הריבועים עם 30 מינים או יותר נמצאו באזור החיץ (5), בקר (4), גריגה בקר ועזים (4) ובגריגה (1). הריבוע עם מספר המינים הגבוה ביותר (47) נמצא בחלקת הרעייה של אזור החיץ.



**איור 5.** התפלגות התדירויות של מספר המינים שהופיעו בריבוע דגימה בגודל  $0.5 \times 0.5$  מ' באתרים השונים. מבוססת על נתונים מחלקות רעייה ומהשנים 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016 ו-2018. ממוצע וסטיית תקן לכל אתר: כבארה בקר (א) –  $11.14 \pm 5.22$ , כבארה בקר ועזים (ב) –  $13.79 \pm 5.69$ , חורשת הברושים (ג) –  $9.60 \pm 4.20$ , אזור החיץ (ד) –  $13.71 \pm 5.93$ , גריגה (ה) –  $12.24 \pm 4.78$ , חורשת האורנים (ו) –  $9.56 \pm 4.15$ .



**איור 6.** התפלגות התדירויות של מספר המינים שהופיעו בריבוע דגימה בגודל  $0.5 \times 0.5$  מ' בחלקת קורסת בחורשת האורנים. מבוססת על נתונים מהשנים 2014, 2016 ו-2018. ממוצע וסטיית תקן:  $10.98 \pm 3.68$ .

מהתפלגות תדירויות מספרי המינים בחלקת "קורסת" (חלקה בחורשת האורנים שהיתה תחת רעייה עד 2012, וגודרה בשנת 2014 כדי לעקוב אחרי השפעת דילול העצים בחורשה; איור 5), נראה כי יש עדיין יותר דמיון בין חלקה זו לחלקת הרעייה מאשר לחלקת הביקורת.

א. זיקה לאתר

**טבלה 4.** מידת הזיקה של מיני הצמחים הנפוצים ביותר למשתני האתר ולמשתני הטיפול. לכל ערך של המשתנה נבחרו עשרת המינים הנפוצים ביותר ונרשמה מידת הזיקה שלהם לטיפול או לאתר.

הקודים של האתרים השונים: G=גריגה, F=אזור החיץ, C=חורשת ברושים, P=חורשת אורנים, CA=כבארה

| נפוץ באתר אחד  |   | נפוץ בשני אתרים  |     | נפוץ בשלושה אתרים |        | נפוץ בארבעה אתרים |          | נפוץ בחמישה אתרים |
|----------------|---|------------------|-----|-------------------|--------|-------------------|----------|-------------------|
| לחך מצוי       | F | עירית גדולה      | F,G | אלת המסטיק        | F,G,CA | רקפת מצויה        | F,G,P,CA | עוקצר מצוי        |
| טרשנית שרועה   | F | שבולת שועל נפוצה | F,C | קידה שעירה        | F,G,CA | אזנב מצוי         | F,G,C,CA |                   |
| מרווה דגולה    | F | פואה מצויה       | G,P | חבלבל עדין        | G,C,CA | מרגנית השדה       | G,C,P,CA |                   |
| טמוס מזרחי     | G | תלתן תריסני      | C,P |                   |        |                   |          |                   |
| שררדיה מצויה   | C |                  |     |                   |        |                   |          |                   |
| חרחבינה מכחילה | C |                  |     |                   |        |                   |          |                   |
| ברוש מצוי      | C |                  |     |                   |        |                   |          |                   |
| בקבוקן מקומט   | C |                  |     |                   |        |                   |          |                   |
| אספרג החורש    | P |                  |     |                   |        |                   |          |                   |
| מרקולית מצויה  | P |                  |     |                   |        |                   |          |                   |

|  |  |  |  |  |  |  |    |                  |
|--|--|--|--|--|--|--|----|------------------|
|  |  |  |  |  |  |  | P  | גרנין הארגמן     |
|  |  |  |  |  |  |  | P  | כותלית פורטוגלית |
|  |  |  |  |  |  |  | P  | זלזלת הקנקנות    |
|  |  |  |  |  |  |  | CA | חגוית שעירה      |
|  |  |  |  |  |  |  | CA | זנב-עקרב שיכני   |
|  |  |  |  |  |  |  | CA | לחך כרתי         |

27 מינים נמנו בין עשרת המינים הנפוצים ביותר בכל אתר. ל-16 מתוכם (59%) היתה זיקה לאתר אחד בלבד. ארבעה מינים היו נפוצים בשני אתרים, שלושה מינים בשלושה אתרים ושלושה מינים נוספים בארבעה אתרים. מעניין לציין שבכל אחת משלוש הקטגוריות הללו, התפוצה של כל מין בין האתרים היא שונה, למעט אלת המסטיק וקידה שעירה שהראו זיקה לאותם אתרים. מין אחד, עוקצר מצוי, היה נפוץ בכל חמשת האתרים. טבלה זאת שונה במידה ניכרת מזו המופיעה אצל הדר וחבריה (2013), עקב התוספת של אתר הכבארה לדיגום ולניתוח, והשינויים בהרכב המינים בחורשת הברושים ובחורשת האורנים לאחר תמותת וסילוק העצים מחלקות אלה. דוגמאות לשינויים אלה: שבולת שועל נפוצה ובקבוקון מקומט עלו על חשבון כלנית מצויה וקחוון מצוי בחורשת הברושים (C), וכותלית פורטוגלית ועוקצר מצוי עלו על חשבון אורן ירושלים (עצים שמתו וסולקו מהחלקה) ואזנב מצוי בחורשת האורנים (P). מאידך, מינים שהיו נפוצים באזור החיץ וברגיה, שני בתי גידול דומים שלא עברו שינוי דרמטי בשנים האחרונות, נשארו נפוצים בבתי גידול אלה (אלת המסטיק, עירית גדולה, קידה שעירה, אזנב מצוי, רקפת מצויה). תוצאה זו מעידה על זיקה חזקה של מינים לבית הגידול. ניכר גם, כי ישנם מינים שנעשו נפוצים יותר בחורשת הברושים וחורשת האורנים, וכעת נמצאים נפוצים בכל האתרים או בכמעט כולם, בעקבות סילוק העצים מהחורשות, לדוגמא, עוקצר מצוי, אזנב מצוי ומרגנית השדה.

#### ב. זיקה לטיפול הרעייה

| נפוץ ברעייה  | נפוץ בביקורת | נפוץ בשני הטיפולים |
|--------------|--------------|--------------------|
| טרשנית שרועה | פואה מצויה   | עוקצר מצוי         |
| חגוית שעירה  | אספרג החורש  | אלת המסטיק         |
|              |              | רקפת מצויה         |
|              |              | מרגנית השדה        |
|              |              | חבלבל עדין         |
|              |              | קידה שעירה         |
|              |              | אזנב מצוי          |
|              |              | תלתן תריסני        |

כשבדקים את עשרת המינים הנפוצים ברעייה ובביקורת, נמצא כי שמונה מתוך שנים-עשר המינים נפוצים בשני הטיפולים. רשימה זו שונה במקצת משמות המינים בניתוח של הדר וחבריה (2013), ושייכותם לרעייה/ביקורת כדלהלן: פואה שעירה ואספרג החורש נפוצים עכשיו בביקורת בעוד שבניתוח של הדר וחבריה (2013) מינים אלה היו נפוצים בשני הטיפולים; מאידך, עוקצר מצוי וקידה שעירה נפוצים עכשיו בשני הטיפולים בעוד שבניתוח

של הדר וחובריה (2013) שני מינים אלה היו נפוצים בביקורת. בנוסף, תלתן תריסני נכנס במקום עירית גדולה (שני הטיפולים) וטרשנית שרועה נכנסה במקום וחרחבינה מכחילה (רעייה). מכיוון שמשטר הרעייה לא השתנתה לאורך השנים, ניתן להסיק כי הזיקה של המינים לטיפול מסויים לא השתנתה כהוא זה, ושהשינויים שאנו רואים כאן נובעים מסילוק הברושים והאורנים משתי החורשות והשינויים העוקבים שחלו בהרכב המינים באתרים אלה.

#### ניתוחי שונות – מגוון מינים:

א. עושר מינים, ומגוון Simpson

1. ניתוח של 4 אתרים (אזור חיץ, גריגה, ברושים, אורנים) 6 X שנים (2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2018) 2 X טיפולים (ביקורת/רעייה)

המודל ב-R:  $Y \sim \text{treatment} * \text{site/year}$

כאשר המשתנה year מקוון בתוך אתר, כמידדה חוזרת.

תיקון Bonferroni עבור גורמים הנבחנים:

| גורם              | מספר רמות | מובהקות של P למבחן בודד |
|-------------------|-----------|-------------------------|
| אתר               | 4         | 0.0125                  |
| טיפול X אתר       | 4 X 2     | 0.00625                 |
| טיפול X אתר X שנה | 6 X 4 X 2 | 0.00125                 |

#### עושר מינים:

**טבלה 5.** עושר מינים ברמת החלקה לפי האתר, טיפול הרעייה ושנת הדגימה (מבוסס על נתוני השנים 2003–2018)

| שנה  | אתר       |     |              |        |     |                    |        |           |        |       |
|------|-----------|-----|--------------|--------|-----|--------------------|--------|-----------|--------|-------|
|      | כבארה     |     | חורשת אורנים |        |     | חורשת ברושים       |        | אזור החיץ |        | גריגה |
|      | בקר ועזים | בקר | בקר          | ביקורת | בקר | קורסת <sup>1</sup> | ביקורת | בקר       | ביקורת | בקר   |
| 2003 |           |     |              |        |     |                    |        |           | 163    | 167   |
| 2005 |           |     |              |        |     |                    |        |           |        | 149   |
| 2006 |           |     |              | 67     | 94  |                    | 105    | 118       | 135    | 144   |
| 2008 | 170       | 149 | 73           | 87     |     |                    | 129    | 147       | 139    | 151   |
| 2009 |           |     |              |        |     |                    |        |           |        | 167   |
| 2010 | 162       | 155 | 67           | 93     |     |                    | 146    | 140       | 152    | 157   |
| 2012 | 184       | 175 | 68           | 105    |     |                    | 138    | 119       | 149    | 148   |
| 2014 |           |     |              | 105    | 158 | 151                | 145    | 133       | 131    | 157   |
| 2016 | 147       | 131 | 110          | 119    | 110 |                    | 150    |           | 134    | 134   |
| 2018 | 166       | 153 | 115          | 129    | 114 |                    | 142    | 55        | 146    | 158   |

המודל:

`fitX0a<-(aov(glm(X0 ~ treatment * site/as.factor(year), family="poisson", data=hill_06_18)))`



|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 51.25 | 53.39 | 50.29 | 43.12 |       | 47.29 | 35.51 | 37.48 | 37.54 | 53.10 | 50.97 | 2016 |
| 54.39 | 59.56 | 52.91 | 50.02 | 13.42 | 37.69 | 37.30 | 36.76 | 37.93 | 57.59 | 59.29 | 2018 |

המודל:

fitX2a<-aov(X2 ~ treatment \* site/as.factor(year), data = hill\_06\_18)

סיכום:

|                         | DF  | SS    | MSS   | F-value | Pr(>F)  |
|-------------------------|-----|-------|-------|---------|---------|
| Treatment               | 1   | 31    | 31.0  | 5.962   | 0.0154  |
| Site                    | 3   | 1579  | 526.3 | 101.325 | <0.0001 |
| Treatment X site        | 3   | 229   | 76.5  | 14.726  | <0.0001 |
| Treatment X site X year | 40  | 12292 | 307.3 | 59.166  | <0.0001 |
| Residuals               | 236 | 1226  | 5.2   |         |         |

טיפול: באופן כללי, מגוון Simpson גבוה יותר תחת רעייה.

אתר: מגוון Simpson גבוה יותר באזור החיץ ובחורשת הברושים מאשר בגריגה או בחורשת האורנים, וגבוה יותר בגריגה מאשר בחורשת האורנים.

טיפול X אתר: מגוון Simpson גבוה יותר תחת רעייה באזור החיץ בלבד, אך אין השפעה של רעייה באתרים האחרים. בחלקות הביקורת, מגוון Simpson נמוך יותר בחורשת האורנים מאשר באתרים האחרים, וגבוה ביותר בחורשת הברושים. בחלקות הרעייה, מגוון Simpson גבוה יותר באזור החיץ מאשר באתרים האחרים, וגבוה יותר בגריגה ובחורשת הברושים מאשר בחורשת האורנים.

טיפול X אתר X שנה (בתוך אתר): מגוון Simpson היה גבוה ביותר בכל האתרים והטיפולים בשנת 2006 ומאז, מדד זה יורד בהדרגה עם הזמן.

לסיכום: מגוון Simpson גבוה ביותר באזור החיץ תחת רעייה, ומושפע לטובה מרעייה באתר זה. לא היתה השפעה של רעייה על מדד זה באף אתר אחר, למרות הבדלים בעושר המינים בין טיפולים. כלומר, המינים העיקריים והדומיננטיים הם אותם מינים בשתי חלקות של אותו אתר, חוץ מבאזור החיץ, שם מתבצעת כריתה של הצומח המעוצה שמשנה מאוד את הרכב ומגוון הצומח. מגוון Simpson היה גבוה ביותר בחלקת הביקורת בחורשת הברושים. נתון מעניין אחר הוא ירידה הדרגתית ומתמדת במגוון Simpson לאורך השנים מאז תחילת הניסוי.

2. ניתוח של 5 אתרים X 4 שנים (2008, 2010, 2012, 2018) בחלקות הרעייה בלבד. ניתוח זה בוצע כדי לבחון את המתרחש בכבארה יחסית לאתרים האחרים מבחינת עושר ומגוון מינים.

המודל ב-R:  $Y \sim \text{site/year}$

כאשר המשתנה year היה מקוון בתוך אתר, כמדידה חוזרת.

תיקון Bonferroni עבור גורמים הנבחים:



|      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 4.37 | 3.71 | 5.37 | 2.98 | 3.67 | 5.84 | 3.85 | 4.42 | *3.39 |      |      | 2014 |
| 3.79 | 3.27 | 3.55 | 2.93 |      | 4.66 | 2.90 | 3.06 | 2.48  | 3.51 | 4.06 | 2016 |
| 3.39 | 2.72 | 3.31 | 2.62 | 1.81 | 3.22 | 2.51 | 2.75 | 2.40  | 3.22 | 4.39 | 2018 |

#### ב. קבוצות תפקודיות:

ההשפעות של טיפול, אתר והאינרקציה ביניהם על כל הקבוצות התפקודיות מוצגות בטבלה 8. עבור כל קבוצה בנפרד מוצג סיכום הניתוח הסטטיסטי ושינויים כלשהם בשנים האחרונות בחורשת הברושים ובחורשת האורנים.

1. ניתוח של 4 אתרים (אזור חיץ, גריגה, ברושים, אורנים)  $6 \times$  שנים (2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2018)  $2 \times$  טיפולים (ביקורת/רעיה)

המודל ב-R:  $Y \sim \text{treatment} * \text{site}/\text{year}$

```
functionalgroup1<-aov(glm(functionalgroup ~ treatment * site/as.factor(year), family="poisson", data=fg_06_18)))
```

כאשר המשתנה year מקונן בתוך אתר, כמידה חוזרת.

תיקון Bonferroni עבור גורמים הנבחנים:

| גורם              | מספר רמות             | מובהקות של P למבחן בודד |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| אתר               | 4                     | 0.0125                  |
| טיפול X אתר       | $4 \times 2$          | 0.00625                 |
| טיפול X אתר X שנה | $5 \times 4 \times 2$ | 0.00125                 |

#### דגניים חד-שנתיים – Annual grasses:

|                       | DF  | SS    | MSS  | F-value | Pr(>F)  |
|-----------------------|-----|-------|------|---------|---------|
| Treatment             | 1   | 1128  | 1128 | 16.66   | <0.0001 |
| Site                  | 3   | 28543 | 9514 | 140.56  | <0.0001 |
| Treatment X site      | 3   | 12641 | 4214 | 62.25   | <0.0001 |
| Treatment site X year | 40  | 28051 | 701  | 10.36   | <0.0001 |
| Residuals             | 236 | 15975 | 68   |         |         |

#### מורכבים – Asteraceae:

|             | DF | SS    | MSS   | F-value | Pr(>F)  |
|-------------|----|-------|-------|---------|---------|
| Treatment   | 1  | 1119  | 1119  | 8.040   | 0.00497 |
| Site        | 3  | 31653 | 10551 | 75.778  | <0.0001 |
| Treatment X | 3  | 22513 | 7504  | 53.896  | <0.0001 |

|                         |     |       |     |       |         |
|-------------------------|-----|-------|-----|-------|---------|
| site                    |     |       |     |       |         |
| Treatment X site X year | 40  | 31053 | 776 | 5.576 | <0.0001 |
| Residuals               | 236 | 32860 | 139 |       |         |

#### מטפסים – Climbers

|                         |     |       |      |         |         |
|-------------------------|-----|-------|------|---------|---------|
|                         | DF  | SS    | MSS  | F-value | Pr(>F)  |
| Treatment               | 1   | 1675  | 1675 | 20.670  | <0.0001 |
| Site                    | 3   | 27771 | 9257 | 114.239 | <0.0001 |
| Treatment X site        | 3   | 1441  | 480  | 5.929   | 0.0006  |
| Treatment X site X year | 40  | 6347  | 159  | 1.958   | 0.0011  |
| Residuals               | 236 | 19124 | 81   |         |         |

#### מצליבים – Crucifers

|                         |     |      |       |         |         |
|-------------------------|-----|------|-------|---------|---------|
|                         | DF  | SS   | MSS   | F-value | Pr(>F)  |
| Treatment               | 1   | 769  | 769.4 | 97.15   | <0.0001 |
| Site                    | 3   | 2767 | 922.2 | 116.44  | <0.0001 |
| Treatment X site        | 3   | 779  | 259.6 | 32.78   | <0.0001 |
| Treatment X site X year | 40  | 7605 | 109.1 | 24.01   | <0.0001 |
| Residuals               | 236 | 1869 | 7.9   |         |         |

#### דו-פסיגיים נוספים – Forbs

|                         |     |        |       |         |         |
|-------------------------|-----|--------|-------|---------|---------|
|                         | DF  | SS     | MSS   | F-value | Pr(>F)  |
| Treatment               | 1   | 86158  | 86158 | 128.860 | <0.0001 |
| Site                    | 3   | 52389  | 17463 | 26.118  | <0.0001 |
| Treatment X site        | 3   | 32446  | 10815 | 16.716  | <0.0001 |
| Treatment X site X year | 40  | 92930  | 2323  | 3.475   | <0.0001 |
| Residuals               | 236 | 157795 | 669   |         |         |

#### גיאופיטים – Geophytes

|           |    |       |       |         |         |
|-----------|----|-------|-------|---------|---------|
|           | DF | SS    | MSS   | F-value | Pr(>F)  |
| Treatment | 1  | 273   | 273   | 4.310   | 0.039   |
| Site      | 3  | 32793 | 10931 | 172.290 | <0.0001 |

|                       |     |       |      |        |         |
|-----------------------|-----|-------|------|--------|---------|
| Treatment site X      | 3   | 4342  | 1447 | 22.814 | <0.0001 |
| Treatment site X year | 40  | 6857  | 171  | 2.702  | <0.0001 |
| Residuals             | 236 | 14973 | 63   |        |         |

#### קטניות – Legumes

|                       | DF  | SS    | MSS   | F-value | Pr(>F)  |
|-----------------------|-----|-------|-------|---------|---------|
| Treatment             | 1   | 5427  | 5427  | 33.66   | <0.0001 |
| Site                  | 3   | 60288 | 20096 | 124.64  | <0.0001 |
| Treatment site X      | 3   | 48582 | 16194 | 100.44  | <0.0001 |
| Treatment site X year | 40  | 51205 | 1280  | 7.94    | <0.0001 |
| Residuals             | 236 | 38050 | 161   |         |         |

#### דגניים רב-שנתיים – Perennial grasses

|                       | DF  | SS   | MSS    | F-value | Pr(>F)  |
|-----------------------|-----|------|--------|---------|---------|
| Treatment             | 1   | 1200 | 1200.4 | 74.091  | <0.0001 |
| Site                  | 3   | 1604 | 534.6  | 32.994  | <0.0001 |
| Treatment site X      | 3   | 239  | 79.6   | 4.915   | 0.0001  |
| Treatment site X year | 40  | 1489 | 37.2   | 2.298   | 0.0021  |
| Residuals             | 236 | 3824 | 16.2   |         |         |

#### עצים ושיחים – Shrubs and trees

|                       | DF  | SS    | MSS  | F-value | Pr(>F)  |
|-----------------------|-----|-------|------|---------|---------|
| Treatment             | 1   | 6     | 6    | 0.072   | 0.789   |
| Site                  | 3   | 16241 | 5414 | 63.460  | <0.0001 |
| Treatment site X      | 3   | 2397  | 799  | 9.366   | <0.0001 |
| Treatment site X year | 40  | 14884 | 372  | 4.362   | <0.0001 |
| Residuals             | 236 | 20133 | 85   |         |         |

#### סוככיים – Umbellifers

|           | DF | SS   | MSS  | F-value | Pr(>F)  |
|-----------|----|------|------|---------|---------|
| Treatment | 1  | 5377 | 5377 | 131.2   | <0.0001 |

|                         |     |      |      |       |         |
|-------------------------|-----|------|------|-------|---------|
| Site                    | 3   | 4254 | 1418 | 34.60 | <0.0001 |
| Treatment X site        | 3   | 1651 | 550  | 13.42 | <0.0001 |
| Treatment X site X year | 32  | 4254 | 133  | 3.244 | <0.0001 |
| Residuals               | 196 | 8033 | 41   |       |         |

2. ניתוח של 5 אתרים X 3 שנים (2008, 2010, 2012, 2018) בחלקות הרעייה בלבד.

המודל ב-R:  $Y \sim \text{site/year}$

כאשר המשתנה year מקוּן בתוך אתר, כמדידה חוזרת.

תיקון Bonferroni עבור גורמים הנבחנים:

| גורם      | מספר רמות | מובהקות של P למבחן בודד |
|-----------|-----------|-------------------------|
| אתר       | 5         | 0.01                    |
| אתר X שנה | 3 X 5     | 0.0033                  |

מטרת ניתוח זה הייתה לבחון את המגמות בתדירות הקבוצות התפקודיות בכבארה. נמצא כי תדירותן של חלק מהקבוצות בכבארה הייתה דומה לתדירותן בגריגה (מורכבים, מטפסים, מצלבים, גיאופיטים, דגניים חד-שנתיים, עצים ושיחים), תדירותן של קבוצות אחרות בכבארה הייתה דומה לתדירותן בחורשת האורנים (דו-פסיגיים נוספים). התדירות של הקבוצות הנותרות (קטניות, דגניים רב-שנתיים, סוככיים) הייתה דומה לתדירותן הן בגריגה והן בחורשת האורנים.

סיכום כולל של ניתוחי הקבוצות התפקודיות: טבלה 8 להלן מסכמת את ההשפעות של הטיפול, האתר והשנה על הקבוצות התפקודיות השונות. הרעייה משפיעה לטובה על רוב הקבוצות התפקודיות, ואילו המטפסים, הדגניים הרב-שנתיים והסוככיים מעדיפים את חלקות הביקורת. הרעייה לא השפיעה כלל על קבוצת העצים ושיחים או על גיאופיטים. מתוך כך, עבור כל הקבוצות התפקודיות, למעט המטפסים, נמצאה מגמה מעורבת בנושא השפעת הרעייה באתרים השונים. בדרך כלל, הרעייה השפיעה יותר באזור החיץ ובברושים או באורנים, ופחות בגריגה ובכבארה. מעבר להשפעות של הרעייה כלשעצמה, הניתוחים מראים כי השינויים שחלו בחורשת הברושים ובחורשת האורנים השפיעו על חלק מהקבוצות התפקודיות. סילוק הברושים הוביל לירידה בקבוצת המורכבים בביקורת, לירידה במטפסים, דו-פסיגיים נוספים, קטניות ועצים ושיחים ברעייה, ועליה בדגניים חד-שנתיים בביקורת. לעומת זאת, דילול העצים בחורשת האורנים הוביל לעליה בדגניים חד-שנתיים ומורכבים, הן בביקורת, הן ברעייה, ועוד שלוש קבוצות תפקודיות – דו-פסיגיים נוספים (רעייה בלבד), סוככיים (ביקורת בלבד) וקטניות, עלו ב-2014 וירדו בחזרה ב-2018.

## טבלה 8. סיכום ניתוח השונות של ההשפעות של טיפול ואתר על הקבוצות התפקודיות

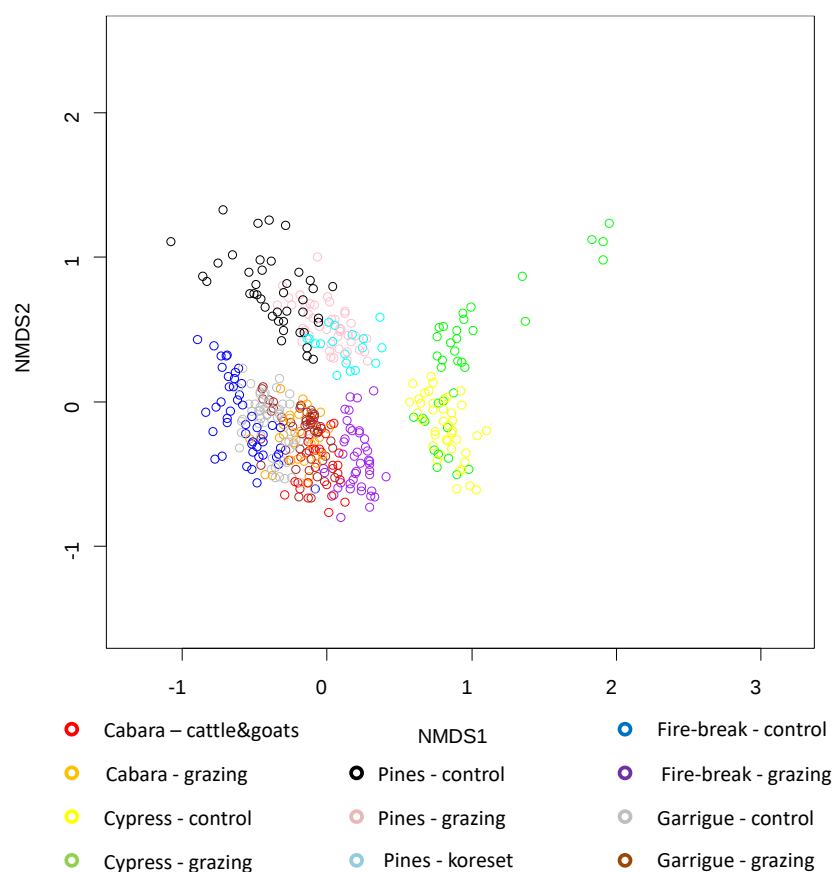
| קבוצה             | זיקה לטיפול | זיקה לאתר                                            | זיקה לטיפול בכל אתר                                                   | זיקה לאתר בכל טיפול                                                                                                                      | השפעות עתיות בחורשת הברושים וחורשת האורנים                                                                                                         |
|-------------------|-------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| דגניים חד-שנתיים  | רעייה       | ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים                     | אזור חץ ואורנים: רעייה<br>ברושים: ביקורת<br>גריגה: אין השפעה של טיפול | ביקורת: ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים<br>רעייה: ברושים ואזור חץ < גריגה ואורנים                                                       | ברושים: עליה ב-2018 בביקורת<br>אורנים: עליה ב-2018 (מגמה החלה ב-2014 בביקורת וב-2012 ברעייה)                                                       |
| מורכבים           | רעייה       | ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים                     | אזור חץ ואורנים: רעייה<br>ברושים: ביקורת<br>גריגה: אין השפעה של טיפול | ביקורת: ברושים < גריגה < אזור חץ ואורנים<br>רעייה: אזור חץ, גריגה < ברושים < אורנים                                                      | ברושים: ירידה ב-2018 בביקורת<br>אורנים: עליה מובהקת מ-2014 (מגמה החלה ב-2012)                                                                      |
| מטפסים            | ביקורת      | אורנים < אזור חץ וגריגה < ברושים                     | אזור החץ ואורנים: ביקורת<br>גריגה וברושים: אין השפעה של טיפול         | ביקורת: אורנים < אזור חץ < גריגה < ברושים                                                                                                | ברושים: ירידה ב-2018 ברעייה<br>אורנים: מגמת עלייה בביקורת                                                                                          |
| מצליבים           | רעייה       | ברושים < אזור חץ < גריגה < אורנים                    | אזור החץ, ברושים, גריגה: רעייה<br>אורנים: אין השפעה של טיפול          | ביקורת: ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים<br>רעייה: ברושים ואזור חץ < גריגה < אורנים                                                      | ברושים: עליה ב-2018 (מגמה החלה ב-2014)<br>אורנים: ללא שינוי                                                                                        |
| דו-פסיגיים נוספים | רעייה       | אזור חץ וגריגה < ברושים < אורנים                     | אזור חץ, גריגה ואורנים: רעייה<br>ברושים: אין השפעה של טיפול           | ביקורת: ברושים, גריגה, אזור חץ (גריגה < אזור חץ) < אורנים<br>רעייה: אורנים (אזור חץ = אורנים)<br>רעייה: אזור חץ < גריגה < אורנים וברושים | ברושים: ירידה ב-2018 ברעייה<br>אורנים: עליה ב-2014 וירידה ב-2018 ברעייה                                                                            |
| גיאופיטים         | אין השפעה   | גריגה < אזור חץ < אורנים < ברושים                    | אזור חץ וברושים: ביקורת<br>אורנים וגריגה: רעייה                       | ביקורת: אזור חץ וגריגה < אורנים וברושים<br>רעייה: גריגה < אזור חץ ואורנים < ברושים                                                       | ברושים: מגמת ירידה מ-2006, מובהקת רק בין 2006 ל-2010 עקב שונות גבוהה בין חתכים<br>אורנים: ללא שינוי                                                |
| קטניות            | רעייה       | ברושים < אזור חץ < אורנים וגריגה                     | אזור חץ, גריגה ואורנים: רעייה<br>ברושים: ביקורת                       | ביקורת: ברושים < אזור חץ, גריגה ואורנים<br>רעייה: ואזור חץ < ברושים < אורנים וגריגה                                                      | ברושים: ירידה חדה ב-2018 ברעייה<br>אורנים: עליה ב-2014, מגמת ירידה ב-2018                                                                          |
| דגניים רב-שנתיים  | ביקורת      | אזור חץ וגריגה < אורנים < ברושים                     | אזור חץ, גריגה וברושים: ביקורת<br>אורנים: אין השפעה של טיפול          | ביקורת: אזור חץ וגריגה < אורנים וברושים<br>רעייה: אזור חץ, גריגה ואורנים < ברושים (אורנים = ברושים)                                      | ברושים: מגמת ירידה מ-2014, אך לא מובהקת בגלל מספרים נמוכים ושונות גבוהה בין חתכים<br>אורנים: מגמת עליה עם הזמן, 2014 גבוה מ-2008, 2018 גבוה מ-2010 |
| עצים ושיחים       | אין השפעה   | אזור חץ, אורנים וגריגה < (אזור חץ < אורנים) < ברושים | אזור חץ: ביקורת<br>אורנים, ברושים וגריגה: אין השפעה של טיפול          | ביקורת: אזור חץ < אורנים וגריגה < ברושים<br>רעייה: אזור חץ, גריגה ואורנים < ברושים                                                       | ברושים: עליה ב-2012 וירידה ב-2018 בביקורת; ירידה לכמעט אפס ברעייה ב-2018<br>אורנים: אין שינוי                                                      |
| סוככים            | ביקורת      | ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים                     | אזור חץ ברושים וגריגה: ביקורת<br>אורנים: אין השפעה של טיפול           | ביקורת: ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים<br>רעייה: ברושים < אזור חץ, גריגה ואורנים                                                       | ברושים: אין שינוי<br>אורנים: עליה ב-2014 וירידה ב-2018 בביקורת                                                                                     |

## אורדינציות:

### א. הרכב מינים:

#### 1. NMDS בוצע על בסיס הנתונים השלם.

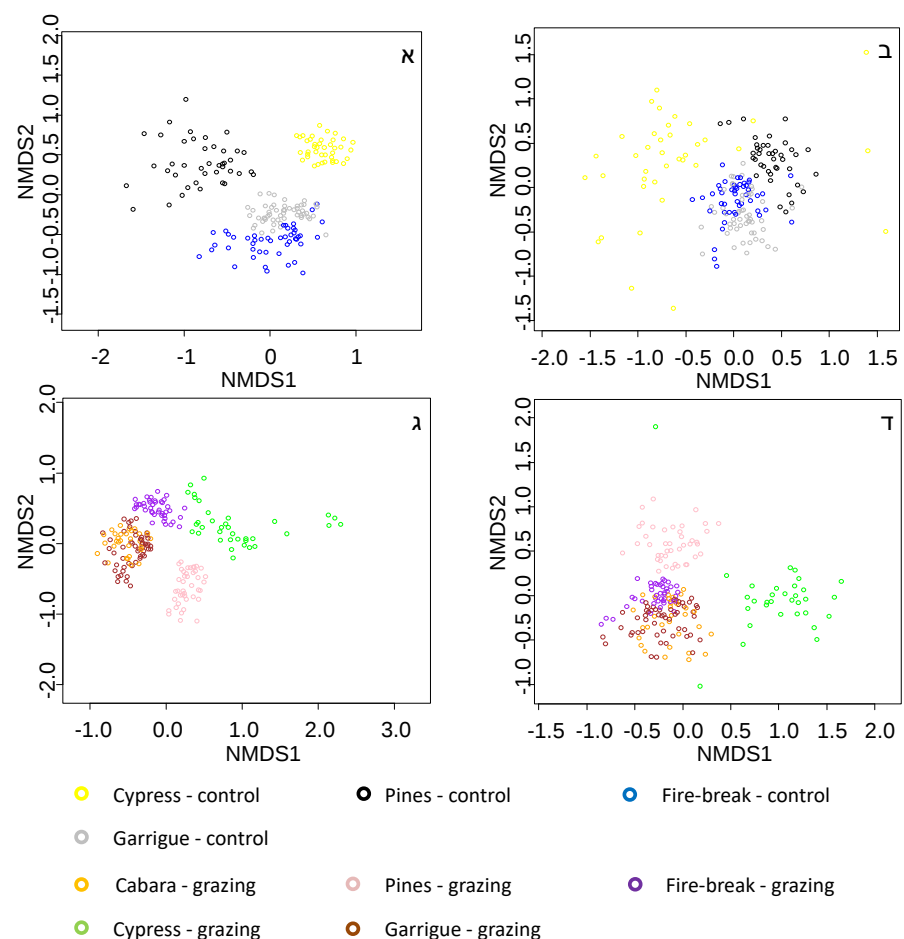
**באיור 7** עדיין ניכרת ההפרדה של הנתונים לשלוש קבוצות: חורשת הברושים (צד ימין), חורשת האורנים (צד שמאל למעלה) וקבוצה שלישית בצד שמאל למטה הכוללת את אזור החיץ, הגריגה והכבארה, בתוכה ניכרת ההפרדה בין חלקת הביקורת וחלקת הרעייה של אזור החיץ. בחורשת האורנים ניכרת הפרדה בין חלקת הביקורת לחלקת הרעייה וחלקת הקורסת (שהיתה תחת רעייה עד שנת 2012). יש לציין שהרכב הצומח בחלקת קורסת עדיין דומה מאוד להרכב המינים בחלקת הרעייה. לגבי חורשת האורנים, אתר זה מתאפיין בהטרוגניות הנמוכה בקנה המידה הקטן (רמת הריבוע) יחסית לאתרים האחרים, לעומת ההטרוגניות הגבוהה בקנה המידה הגדול (רמת החתר), שנראית גבוהה יותר מההטרוגניות באתרים האחרים, וניכרת היטב באיור 7. איור 7 גם מראה מעין "מתיחה" לכיוון ימין של הנקודות מחלקת הרעייה בחורשת הברושים. בשנת 2016 מתו כל עצי הברושים בחורשה זו והם סולקו מהשטח. שש הנקודות בצד ימין מייצגות את הרכב הצומח בחלקת הרעייה בשנת 2018. מעניין לראות, כי תמותת העצים גרמה לשינוי ניכר בהרכב הצומח בחלקת הרעייה אולם לא השפיעה על הרכב הצומח בחלקת הביקורת. מניתוחי השונות לעיל אנו יכולים להסיק שהשינוי בהרכב המינים בחלקת הרעייה נבע לרוב מירידה חדה בעושר המינים (לרוב דו-פסיגיים וקטניות) בחלקה זו וגם מירידה ניכרת בשוויוניות.



**איור 7.** אורדינציה מסוג NMDS (Nonmetric MultiDimensional Scaling) המציגה את השפעת האתר על הרכב המינים. הניתוח בוצע על מסד הנתונים השלם הכולל את אתרי הרעייה והביקורת משמונה שנות הדגימה (2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018). כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת.

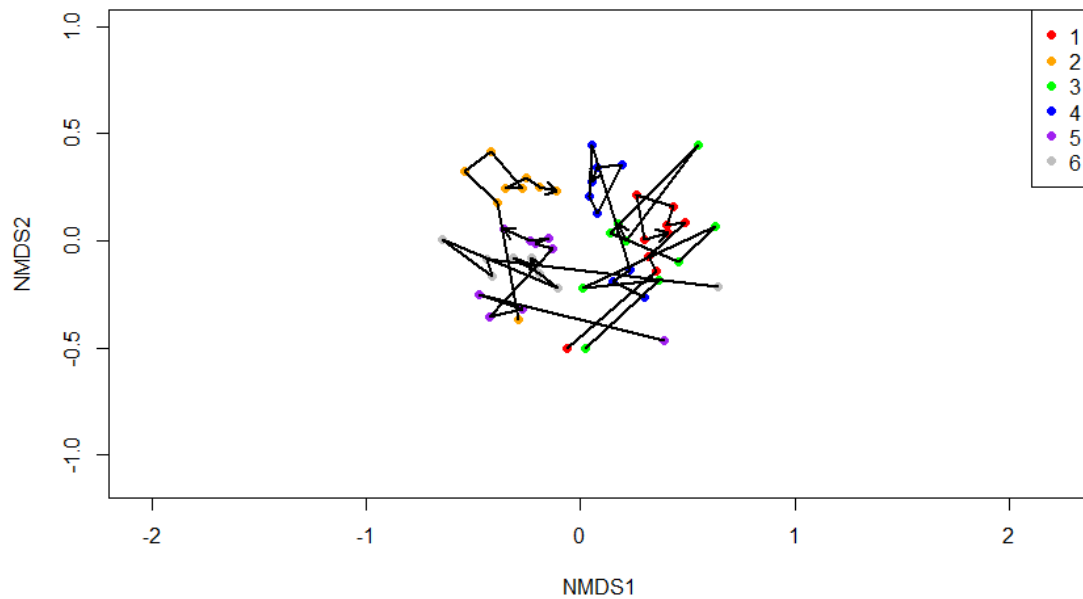
NMDS בוצע על הרכב המינים לפי טיפול הרעייה וסיווג הצומח כדי לקבוע האם יש הבדלים בין צומח עשבוני ומעוצה, ובין צומח תחת רעייה או בביקורת, מבחינת הרכב הצומח בין האתרים.

להלן המגמות העיקריות העולות מניתוח זה (איור 8): (א) חלוקת האתרים לפי הרכב הצומח לשלוש קבוצות (כמו שניתן לראות באיור 7) – אזור החיץ, גריגה וכבארה בקבוצה אחת, חורשת האורנים וחורשת הברושים, (ב) דמיון רב בין הרכב הצומח המעוצה בחורשת האורנים, אזור החיץ והגריגה בחלקות הביקורת; (ג) היבדלות הרכב הצומח העשבוני באזור החיץ לעומת הגריגה והכבארה בחלקות הרעייה, ו- (ד) עליה בדמיון בהרכב הצומח בין חורשת האורנים לגריגה וכבארה תחת רעייה. בנוסף, באיור 8 ניתן לראות כי היבדלות ששת החתכים מחלקת הרעייה בחורשת הברושים בשנת 2018 נובעת בעיקר משינויים בהרכב הצומח העשבוני. תוצאה זו לא מפתיעה, מכיוון שצמחים עשבוניים מגיבים מהר יותר לשינויים לתנאי המחיה מאשר צמחים מעוצים, עקב אורך החיים הקצר וקצב הגידול המהיר שלהם.



**איור 8.** אורדינציה מסוג NMDS (Nonmetric MultiDimensional Scaling) המציגה את השפעת האתר על הרכב המינים לפי טיפול הרעייה וסיווג הצומח. (א) מינים עשבוניים בחלקות הביקורת; (ב) מינים מעוצים בחלקות הביקורת; (ג) מינים עשבוניים בחלקות הרעייה; (ד) מינים מעוצים בחלקות הרעייה. הניתוח בוצע על מסד הנתונים השלם (למעט חלקת koreset בחורשת האורנים ועצי האורן והברוש ולמעט רעייה משלובת של בקר ועזים באתר כבארה) הכולל את אתרי הרעייה והביקורת מעשר שנות הדיגום (2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018). כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת.

2. NMDS בוצע על הרכב המינים בחלקת הביקורת של אתר גריגה, לאורך כל שנות הדגימה, כדי ללמוד את המגמות העתיות בהרכב מיני הצומח.

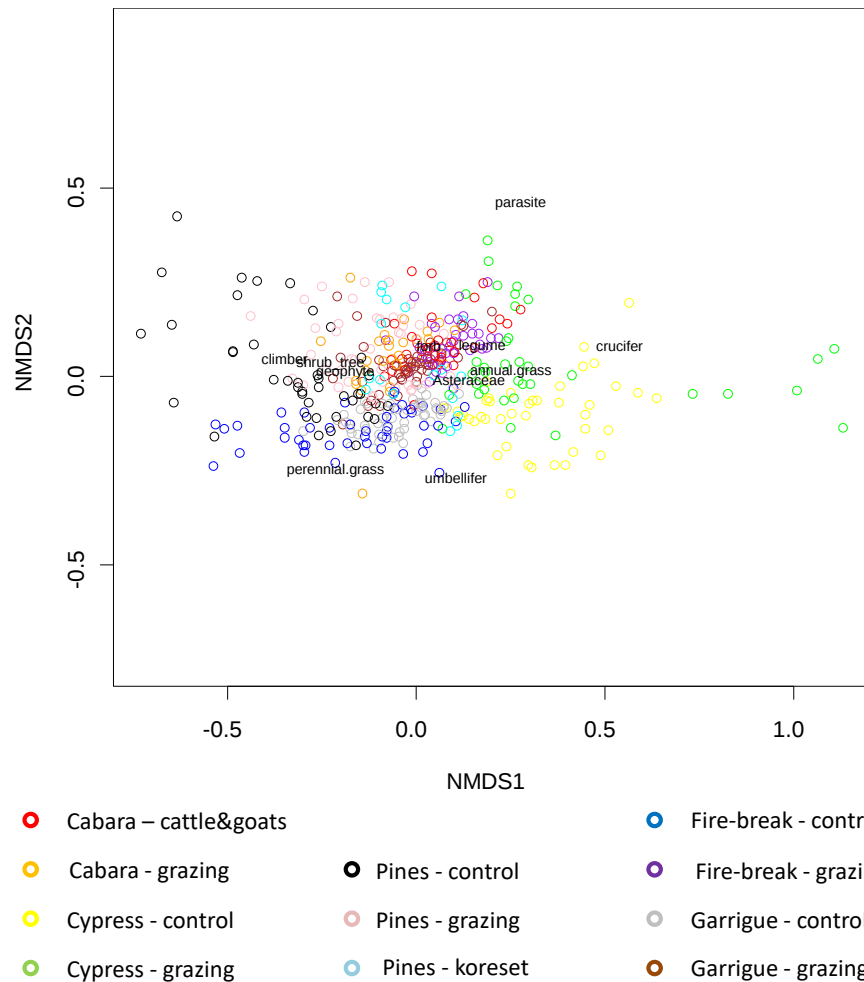


**איור 9.** אורדינציה מסוג NMDS (Nonmetric MultiDimensional Scaling) המציגה מגמות עתיות בהרכב המינים ברמת החתך בחלקת הביקורת באתר גריגה. הניתוח בוצע על הנתונים מחלקת הביקורת באתר גריגה מתשע שנות דיגום (2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018). כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת. החתכים מסומנים מ-1 עד 6. הקווים מחברים בין נקודות עוקבות של אותו חתך. החץ שבקצה כל קו מצביע על כיוון ההשתנות בהרכב המינים בין שתי שנות הדיגום האחרונות.

התבוננות באורך הצירים באיור 8 מגלה שטווח השינויים בהרכב המינים בין חתכים ושנים יחסית צר. אף-על-פי-כן, ניתן לראות כי בכל החתכים למעט החתכים 4 ו-5, חל שינוי משמעותי בהרכב המינים משנת 2003 (שנת הקמת החלקות) לשנת 2005. נראה שהחתכים מתחלקים לשתי קבוצות – 1, 3 ו-4 בקבוצה אחת ו-2, 5 ו-6 בקבוצה השנייה, אך בתוך כל קבוצה, כל חתך משתנה משנה לשנה באופן עצמאי, מה שמשקף את ההטרוגניות המרחבית בסקאלה של החתכים. בשנתיים האחרונות נראה כי השינויים היו קטנים מאוד בכל החתכים, למעט בחתך 3, בו היה שינוי גדול יותר בהרכב המינים בין 2014 ל-2016.

## ב. הרכב הקבוצות התפקודיות:

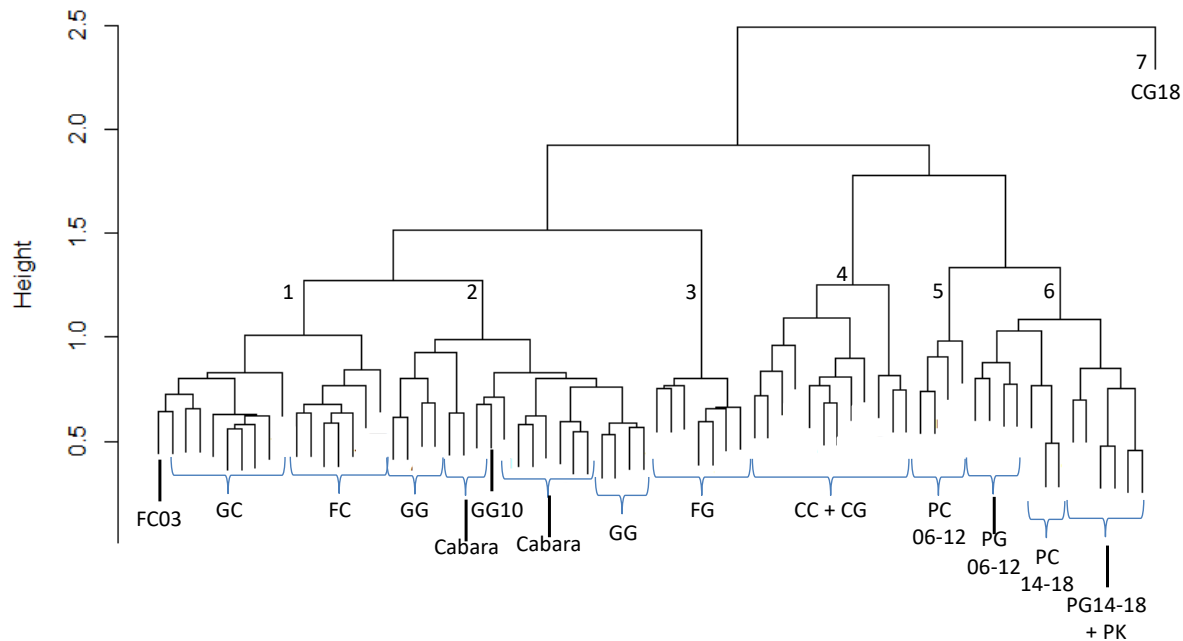
NMDS בוצע על הרכב הקבוצות התפקודיות במסד הנתונים השלם, כדי לקבוע האם קיימת חלוקה ברורה בין האתרים בהרכב הצומח על בסיס הקבוצות התפקודיות. תשובה חיובית היתה פותחת אפשרויות חדשות בהכוונת המאמצים לשמירת טבע בפארק. ניתוח זה הוספו הקבוצות התפקודיות באיור 9, אין הבדל ברור בהרכב הקבוצות התפקודיות בין האתרים. או טיפולים.



**איור 9.** אורדינציה מסוג NMDS (Nonmetric MultiDimensional Scaling) המציגה את השפעת האתר על הרכב הקבוצות התפקודיות. הניתוח בוצע על מסד הנתונים השלם הכולל את אתרי הרעייה והביקורת מעשר שנות הדיגום (2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018). כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת על בסיס הקבוצות התפקודיות.

## ג. ניתוח אשכולות

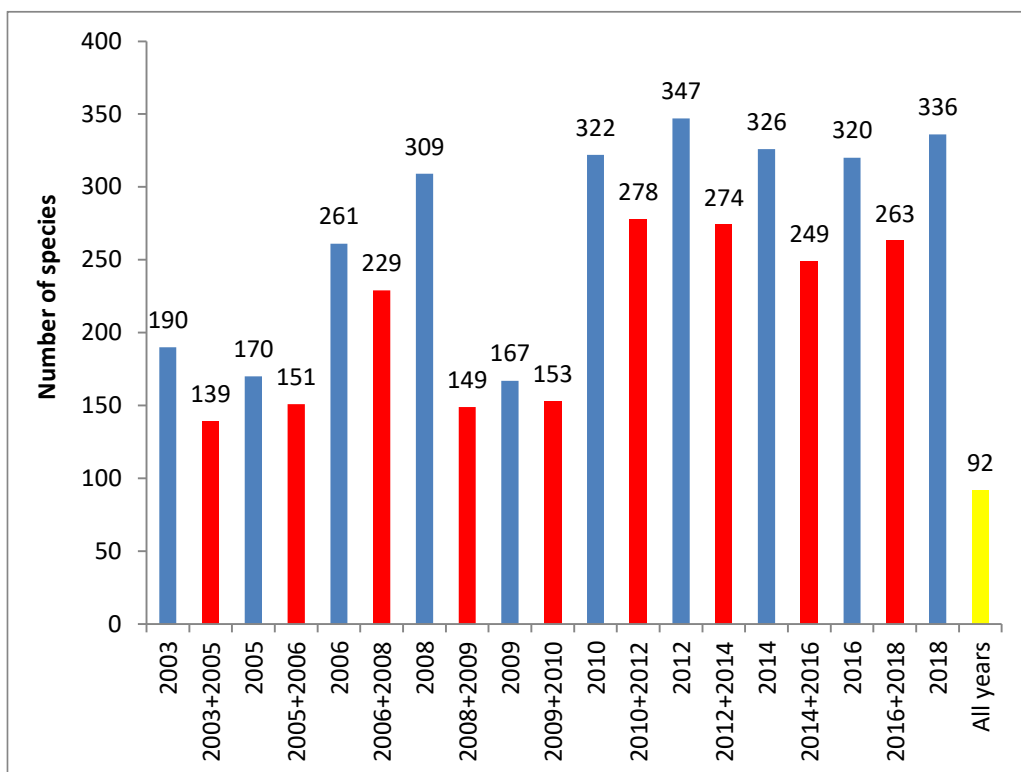
בוצע ניתוח אשכולות (Clustering) במטרה להבין יותר טוב את ההבדלים בהרכב המינים בין אתרים, טיפולים ושנים. הניתוח בוצע ברמת החלקה, כדי לצמצם את ה"רעש" בנתונים ולהקל על הבנת התוצאות. כמו כן, השונות בין שנים רבה יותר מהשונות בין חתכים, ולכן סביר להניח שפעולות ממשק המבוצעות על חלקה מסויימת ישפיעו במידה דומה על כל החתכים. **איור 10** להלן מציג את תוצאות ניתוח האשכולות.



**איור 10.** ניתוח אשכולות מסוג Agglomerative Hierarchical Clustering המחלקת את החלקות לאשכולות לפי מידת הדמיון ביניהם. הניתוח בוצע על מסד הנתונים השלם הכולל את אתרי הרעייה והביקורת מעשר שנות הדיגום (2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018). כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת על בסיס הקבוצות התפקודיות.

**איור 10** מאשש את תוצאות האורדינציה ושאר הניתוחים. קבוצה 1 כוללת את חלקות הביקורת של אזור החיץ והגריגה, קבוצה 2 כוללת את חלקת הרעייה של הגריגה ושתי חלקות הכבארה (להזכיר ששתי חלקות אלו תחת רעייה – רעיית בקר ורביית בקר ועזים). קבוצה 3 כוללת את חלקת הרעייה של אזור החיץ וקבוצה 4 כוללת את שתי החלקות של חורשת הברושים. ניתן לראות בבירור שבשנת 2018 חל שינוי משמעותי בהרכב המינים בחלקת הרעייה – כפי שניתן לראות, חלקה זו נבדלת משאר בסיס הנתונים בשנת 2018 ונמצאת לבדה בקבוצה 7. כפי שתואר לעיל, שינוי זה נובע מירידה חדה בעושר המינים, בעיקר מיני קטניות ודו-פסיגיים נוספים. לבסוף, קבוצות 5 ו-6 כוללות את החלקות בחורשת האורנים, עם חלוקה שמשקפת את ההשפעה של דילול העצים בשנת 2013. קבוצה 5 כוללת את חלקת הביקורת עד 2012, ואילו קבוצה 6 מתחלקת לשלושה אשכולות קטנים יותר – חלקת הרעייה עד 2012, חלקת הביקורת מ-2014 והלאה ועוד אשכול של חלקת הרעייה מ-2014 וחלקת 'קורסת'. שוב ניתן לציין את העובדה המעניינת כי הרכב המינים בחלקת קורסת, שלא עברה דילול והופסקה בה הרעייה בשנת 2013, דומה ביותר להרכב המינים בחלקת הרעייה לאחר דילול. בוצע גם ניתוח אשכולות של המינים, אך התוצאות לא ברורות דיין בכדי להציג בדו"ח זה. בדיון מוצעים רעיונות אחרים להמשך ניתוח המינים.

מספר המינים אשר נרשמו משנה לשנה מופיע ב**איור 11** למטה. בנוסף, ניתן לראות את מספר המינים המשותף לכל זוג של שנים עוקבות. מעניין לציין שמספר המינים המשותף לכל שנות הדיגום נמוך יחסית (92 מינים בלבד). תוצאה זו נובעת מהשונות בין-שנתית בתנאי האקלים שמשפעה במידה שונה בכל בית גידול, וגם מהעובדה שבחלק מהשנים לא כל החלקות/אתרים נדגמו. אם נבדוק רק את השנים אשר נדגמו בהן כל החלקות בכל האתרים (2008, 2010, 2012, 2018), נגלה כי ישנם 217 מינים אשר נדגמו בכל ארבע השנים, 66% של הממוצע לארבע השנים הללו (328.5 מינים). עוד נקודה מעניינת היא מספר המינים לשנת 2014, בה לא נדגמו החלקות באתר כבארה, אך מספר המינים נשאר גבוה עקב הדמיון הרב בהרכב המינים באתר זה להרכב המינים באתר הגריגה (ראו **איור 7**). ההבדל במספר המינים (8 מינים) בשנת 2008 בין דו"ח זה לדו"ח של קנט וכרמל (2011) נובע מהשמטת קודים שלא הצלחנו לשדך להם מינים בשלב הניקיון של מסד הנתונים לקראת הניתוח. בהתאם, מספר המינים המשותף לכל השנים קטן יותר מזה שמופיע בדו"ח של קנט וכרמל (2011). ניתן לראות שקיימת יציבות מסויימת במספר המינים הנדגם בשנים בהן נדגמו כל האתרים.



**איור 11.** מספרי מינים שהופיעו בסקרים ברמת הנדיב בשנים השונות (עמודות כחולות), ומספרי המינים שהופיעו בשני סקרים עוקבים (עמודות אדומות). העמודה הצהובה מראה את מספר המינים שחזרו והופיעו בכל הסקרים. אחרי קנט וכרמל (2011), עם תוספת של הסקרים מהשנים 2010, 2012, 2014, 2016 ו-2018, ושינויים קלים של מספרי מינים עקב השמטת מינים כפי שמתואר לעיל.

## יציבות בחלקות:

**טבלה 10.** יציבות של מינים בחלקות הביקורת לאורך השנים בכל אתר. שנה ראשונה - מספר המינים אשר מספר ההופעות שלהם ירד ב-20% או יותר בין שתי שנים עוקבות; שנה שניה – מספר המינים אשר מספר ההופעות שלהם עלה ב-20% או יותר בין שתי שנים עוקבות; שתי שנים – מספר המינים אשר מספר ההופעות שלהם השתנה בפחות מ-20% בין שתי שנים עוקבות. מבוסס על נתונים מכל שנות הדיגום בחלקות הביקורת (2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018).

| השוואה     | חורשת האורנים |          |          |            | חורשת הברושים |          |          |            | אזור החיץ  |          |          |            | גריגה      |          |          |            |
|------------|---------------|----------|----------|------------|---------------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|------------|
|            | שנה ראשונה    | שנה שניה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה    | שנה שניה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה | שנה שניה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה | שנה שניה | שתי שנים | יציבות (%) |
| 2003: 2005 |               |          |          |            |               |          |          |            | 149        | 21       | 63       | 47.37      | 40         | 29       | 75       | 52.08      |
| 2005: 2006 |               |          |          |            |               |          |          |            |            |          |          |            | 30         | 25       | 83       | 60.14      |
| 2006: 2008 | 14            | 20       | 26       | 43.33      | 21            | 36       | 46       | 44.66      | 29         | 23       | 60       | 53.57      | 39         | 25       | 61       | 48.8       |
| 2008: 2010 | 17            | 12       | 29       | 50         | 19            | 35       | 58       | 51.79      | 22         | 31       | 62       | 53.91      | 14         | 42       | 77       | 57.89      |
| 2010: 2012 | 14            | 25       | 20       | 33.90      | 35            | 25       | 43       | 41.75      | 32         | 33       | 49       | 42.98      | 29         | 18       | 88       | 65.19      |
| 2012: 2014 | 8             | 37       | 28       | 38.36      | 18            | 39       | 52       | 47.71      | 46         | 19       | 44       | 40.37      | 22         | 14       | 82       | 69.49      |
| 2014: 2016 | 28            | 21       | 37       | 43.02      | 21            | 26       | 71       | 60.17      | 20         | 32       | 60       | 53.57      | 18         | 25       | 74       | 63.25      |
| 2016: 2018 | 14            | 14       | 52       | 65         | 40            | 18       | 64       | 52.45      | 22         | 31       | 64       | 54.70      | 20         | 24       | 81       | 64.8       |
| ממוצע      |               |          |          | 45.60      |               |          |          | 49.75      |            |          |          | 49.50      |            |          |          | 60.21      |

<sup>1</sup>אזור החיץ לא נדגם בשנת 2005

עיון ביציבות בחלקות הביקורת (**טבלה 10**) מגלה כי היציבות בחורשת האורנים, חורשת הברושים ואזור החיץ עומדת על 45-50% ואילו בגריגה היציבות עולה ל-60%. בנוסף, ניתן לראות כי לאחר כניסת מינים נוספים לחורשת האורנים בשנת 2014, נראה כי חלה עליה ביציבות באתר זה. חשוב להמשיך לעקוב אחרי אתר זה כדי לראות אם היציבות נשארת גבוהה יותר לטווח הארוך. בחלקות הרעייה (**טבלה 11**) היציבות נעה בין 50-57% בכבארה, חורשת הברושים, אזור החיץ וגריגה, ואילו בחורשת הברושים היציבות יורדת לכ-38% (44% ללא ההשוואה האחרונה). היציבות הנמוכה ביותר שנרשמה בחורשת הברושים בין שנת 2014 לשנת 2018 נובעת מהעובדה כי לאחר ההפרעה הכפולה של סילוק הברושים ורעיית בקר, כל החלקה התכסתה תחילה בסרפדים (ולכן לא נדגמה בשנת 2016) ואח"כ התחילה להתאושש לאט לאט. נמשיך לעקוב אחרי ההתאוששות של חלקה זאת. נתון נוסף מעניין בטבלה זאת הוא שבשני טיפולי הרעייה בכבארה היציבות דומה (53%-55%). לבסוף, יש לציין את היציבות הגבוהה שנרשמה בחלקת הקורסת בחורשת האורנים (68%), שכאמור מראה דמיון רב לחלקת הרעייה באתר זה (**ראו איור 7**), למרות שלא בוצע בה דילול והופסקה בה הרעייה בשנת 2013.

**טבלה 11.** יציבות של מינים בחלקות הרעייה לאורך השנים בכל אתר. שנה ראשונה - מספר המינים אשר מספר ההופעות שלהם ירד ב-20% או יותר בין שתי שנים עוקבות; שנה שנייה – מספר המינים אשר מספר ההופעות שלהם עלה ב-20% או יותר בין שתי שנים עוקבות; שתי שנים – מספר המינים אשר מספר ההופעות שלהם השתנה בפחות מ-20% בין שתי שנים עוקבות. מבוסס על נתונים מכל שנות הדיגום בחלקות הרעייה (2005, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018).

| השוואה    | כבארה           |           |          |            | חורשת האורנים       |           |          |            | חורשת הברושים |           |          |            | אזור החיץ  |           |          |            | גריגה      |           |          |            |
|-----------|-----------------|-----------|----------|------------|---------------------|-----------|----------|------------|---------------|-----------|----------|------------|------------|-----------|----------|------------|------------|-----------|----------|------------|
|           | שנה ראשונה      | שנה שנייה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה          | שנה שנייה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה    | שנה שנייה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה | שנה שנייה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה | שנה שנייה | שתי שנים | יציבות (%) |
| 2005:2006 |                 |           |          |            |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            | 40         | 27        | 62       | 48.06      |
| 2006:2008 |                 |           |          |            | 18                  | 25        | 32       | 42.67      | 28            | 38        | 48       | 42.11      | 28         | 30        | 72       | 55.38      | 31         | 31        | 58       | 48.33      |
| 2008:2009 | 24              | 38        | 64       | 50.79      | 22                  | 30        | 32       | 38.10      | 38            | 37        | 55       | 42.31      | 21         | 49        | 73       | 51.05      | 122        | 37        | 73       | 55.30      |
| 2009:2010 |                 |           |          |            |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            | 31         | 39        | 72       | 50.70      |
| 2010:2012 | 22              | 36        | 73       | 55.73      | 18                  | 13        | 43       | 58.11      | 39            | 23        | 51       | 45.13      | 45         | 31        | 75       | 49.67      | 29         | 40        | 65       | 48.51      |
| 2012:2014 | 37              | 22        | 70       | 54.26      | 10                  | 44        | 47       | 46.53      | 21            | 30        | 46       | 47.42      | 36         | 22        | 82       | 58.57      | 43         | 23        | 60       | 47.62      |
| 2014:2016 |                 |           |          |            |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            | 18         | 34        | 82       | 61.19      |
| 2016:2018 | 16              | 21        | 77       | 67.54      | 12                  | 18        | 64       | 68.09      | 64            | 4         | 13       | 16.05      | 22         | 33        | 76       | 58.02      | 24         | 32        | 89       | 61.38      |
| ממוצע     |                 |           |          | 57.08      |                     |           |          | 50.82      |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          | 38.60      |
|           | כבארה בקר ועזים |           |          |            | חורשת האורנים קורסת |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
|           | שנה ראשונה      | שנה שנייה | שתי שנים | יציבות (%) | שנה ראשונה          | שנה שנייה | שתי שנים | יציבות (%) |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| 2005:2006 |                 |           |          |            |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| 2006:2008 |                 |           |          |            |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| 2008:2010 | 15              | 52        | 70       | 51.09      |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| 2010:2012 | 35              | 35        | 78       | 52.70      |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| 2012:2014 | 40              | 24        | 73       | 53.28      | 27                  | 12        | 63       | 61.76      |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| 2014:2016 |                 |           |          |            |                     |           |          |            |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| 2016:2018 | 14              | 36        | 86       | 63.24      | 9                   | 13        | 63       | 74.12      |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |
| ממוצע     |                 |           |          | 55.08      |                     |           |          | 67.94      |               |           |          |            |            |           |          |            |            |           |          |            |

<sup>1</sup> רק חלקת הרעייה באתר הגריגה נדגמה בשנת 2009; <sup>2</sup> אתר הכבארה לא נדגם בשנת 2014; <sup>3</sup> חלקת הרעייה בחורשת הברושים לא נדגמה בשנת 2016 עקב התפשטות סרפדים

## דיון, מסקנות והמלצות:

בניתוח הנוכחי (2003–2018) עודכנה רשימת המינים המלאה של מיני צומח הגדלים בפארק ל-653 מינים. יותר מזה, רשימת המינים בחלקות ה-LTER גדלה מ-326 מינים ל-493 מינים לעומת הניתוח של הדר וחבריה (2013). הניתוח הנוכחי מהווה עדכון לניתוח של הדר וחבריה (2013) על נתונים מהתקופה 2003–2008, הכולל חזרה ושכלול של הניתוחים שבוצעו קודם, ותוספת של ניתוחים חדשים כדי להעמיק את ההבנה של השפעת ממשק הרעייה על הצומח. הניתוח מציג היבטים שונים של המגוון – תיאוריים וכמותיים, כדי להאיר מושג רב-ממדי זה מזוויות שונות ולהראות כיצד הן יכולות לסייע לקבלת החלטות ממשקיות: התפלגות המגוון בקני מידה שונים (ריבוע הדגימה, החתך) מאפייני מינים שכיחים יותר ופחות, תגובה של קבוצות תפקודיות שהוגדרו מראש ויציבות בין שנים בשפעת הרעייה.

נמצא כי עושר המינים די יציב בין שנים שונות, הן ברמת החלקה והן ברמת החתך. לעומת זאת, היציבות של מגוון המינים ברמת החלקה לא השתקפה ברמת החתך; ברמת החתך מגוון המינים הראה ירידה מתמדת בין שנה לשנה בכל החלקות, מה שמצביע על שינוי בתנאי האקלים ולא על השפעה של פעולות ממשק. ייתכן שרצף שנות הבצורת הוא הסיבה לירידה במגוון המינים ברמת החתך, כלומר, הידלדלות של הצומח בעקבות המחסור במים, בצורה כזאת שהצמחים הנדירים נהיים נדירים יותר והדומיננטיים נהיים דומיננטיים יותר. באופן כללי, חברת הצומח מראה שונות רבה אך לא כיוונית בהרכב המינים בזמן – מינים רבים מופיעים ונעלמים בכל שנת דיגום בפארק, ופחות מרבע מהם (92) חזרו והופיעו בכל הסקרים. כמו כן, כפי שנמצא בניתוח של הדר וחבריה (2013), רוב המינים שנדגמו בסקר משנת 2003 עד שנת 2018 היו ניטרליים ביחס לאתר או לטיפול, או שהראו זיקה חזקה יותר לאתר ספציפי (לכל אתר היה לפחות מין אחד עם זיקה חזקה אליו) מאשר לממשק הרעייה. השוואת העושר והמגוון של המינים בין ממשקי הרעייה השונים הראתה כי ישנה השפעה של הרעייה באזור החיץ (כלומר, רעייה משולבת עם כריתה) ובחורשת האורנים, אך אין השפעה בגריגה או בחורשת הברושים. התבוננות באורדינציות מראה כי קיימים הבדלים בהרכב הצומח בין חלקות הרעייה לחלקות הביקורת, בעיקר באזור החיץ ובחורשת האורנים, אך ההבדל בהרכב המינים בין החורשות הנטועות (אורנים, ברושים) לבתי הגידול הטבעיים (אזור חיץ, גריגה וכבארה) משמעותי הרבה יותר. מעבר לכך, האורדינציה מצביעה על הטרוגניות רבה בהרכב הצומח בזמן ובמרחב בתוך כל אתר הן בחלקות הביקורת והן בחלקות הרעייה.

ב-2010, סרפד הכדורים הופיע בחלקות הניסוי. מבדיקת מסד הנתונים עולה כי מין זה מופיע כמעט אך ורק בחלקת הרעייה בחורשת הברושים. מכאן ניתן להסיק כי ההבדל בהרכב המינים בין שתי החלקות בחורשה זו (איור 7) קשור להופעת מין זה. בשנת 2014, תדירות ההופעה של מין זה עלה באופן ניכר. בשנת 2016, כל עצי הברוש בחורשת הברושים מתו וסולקו מהשטח. בחלקת הביקורת, כריתת וסילוק העצים לא הוביל לשינויים כלשהם במדדים השונים שנמדדו, כנראה מפני שעצי ברוש זקופים ולא מטילים צל רב בסביבתם, ולכן היעדרם לא משפיע על תנאי הצל בשטח. לעומת זאת, סילוק העצים מחלקת הרעייה גרמה להתפרצות מסיבית של הסרפד עד כדי כך שהחלקה לא נדגמה באותה שנה (הדר ל., תקשורת אישית). עד שנת 2018 הסרפד חזר לתדירותו מלפני 2014, אך ניכר שההתפרצות גרמה לדיכוי של מינים רבים והשפיעה הן על עושר המינים, הן על מגוון המינים, והן על הרכב המינים העשבוניים, במיוחד נעלמו מינים רבים של קטניות ודו-פסיגיים נוספים. לכן, הנתונים מחלקה זו בשנת 2018 משקפים את תחילת תהליך ההתאוששות של הצומח.

ב-2012 התרחשה תמותת עצים נרחבת בחורשת האורנים. בשנת 2013 עצים אלה סולקו ועתה ניתן לבחון את ההשפעה של תמותת העצים וסילוקם על הצומח. ניתן לראות, כי תמותת העצים וסילוקם מהשטח איפשרו כניסה של מינים רבים שלא נמצאו באתר זה קודם לכן. הן בחלקת הרעייה והן בחלקת הביקורת, והביאו את עושר ומגוון המינים באתר זה לאותה רמה של מדדים אלה באתרים האחרים בשנת 2014, ולפחות עד שנת 2018, מדדים אלו נשארו ברמה גבוהה זאת. ניתוח היציבות מראה כי ייתכן שבנוסף לכניסה של מינים חדשים, השכיחות של מינים אחרים עלתה. שתי תופעות אלה כנראה תרמו לשינויים בהרכב המינים באתר זה בשנת 2014. בחלקת הקורסת, שהוקמה בשטח ללא דילול העצים המתים, עושר ומגוון המינים וכמו כן הרכב הצומח דומים יותר

לממצאים מחלקת הרעייה באתר זה ופחות דומים לחלקת הביקורת. מאז 2014 ועד 2018 אפשר היה לצפות שהרכב הצומח בחלקת הקורסת ישתנה בעקבות הפסקת הרעייה ויתקרב להרכב המינים בחלקת הביקורת, אך הניתוח מראה כי הרכב הצומח בחלקת הקורסת נשאר דומה להרכב המינים בחלקת הרעייה מדוללת העצים. ממצא זה די מפתיע מכיוון שקיים הבדל ניכר בהרכב המינים בין חלקת הרעייה לחלקת הביקורת ואפשר היה לחשוב שהרכב הצומח העשבוני אכן ישתנה בעקבות הפסקת הרעייה. חשוב להמשיך לעקוב אחר שלוש החלקות באתר זה.

חלוקה של המינים לקבוצות תפקודיות מוגדרות מראש (א-פריורי) עשויה להוות כלי שימושי להבנת השפעות פעולות ממשק על הצומח, אך מכיוון שבמקרה זה נמצאה חפיפה רבה בין ההעדפות של קבוצות תפקודיות שונות לטיפול הרעייה ותנאי בית הגידול באתרים השונים, קשה לאפיין כל חלקה לפי הרכב הקבוצות התפקודיות שלה (המבוססות על צורת חיים ושיוך טקסונומי). חלוקה כזו לא תמיד מבטאת את התכונות שמגיבות באופן הטוב ביותר לטיפולים. מאידך, תכונות תפקודיות, כמו גובה, השטח הסגולי של העלה, גודל הזרע או נוכחות חומרים משניים, שחוצות קבוצות טקסונומיות צפויה להפגין תגובה ברורה יותר לטיפול הרעייה. אך בשביל לבחון את ההשערה הזו יש צורך למדוד תכונות אלה בכלל המינים שמראים זיקה לטיפול מסוים ולראות מה המשותף להם. מתוך כך, מכיוון שאין ברשותי נתונים על תכונות תפקודיות של הצמחים, ערכתי נסיון לשפר אפיון הצומח ע"י ניתוח אשכולות של המינים אך גישה זו הניבה תוצאה עוד פחות ברורה מהשימוש בקבוצות תפקודיות. נדרש עיון נוסף בשיטות נוספות לאפיון הרכב הצומח (ראו המלצות).

שתי המסקנות הראשונות נותרות מהניתוח של הדר וחובריה (2013):

1. המערכת האקולוגית ברמת הנדיב מפגינה עמידות גבוהה לשינויים. ראיה לכך ניתן לראות ביציבות של מספר המינים משנת 2008 ואילך, במיוחד בחלקות הביקורת, והיציבות בהרכב המינים לאורך זמן בכל טיפול.

2. יחד עם זאת, מגוון טיפוס האתרים וממשקי הרעייה בסקאלה הגדולה שומרים על הטרוגניות בהרכב המינים בקנה מידה הגדול מחד גיסא, ופעולת הרעייה שומרת על הטרוגניות מרחבית בקנה מידה הקטן מאידך גיסא. ההטרוגניות בקנה המידה הגדול מושפעת מהטרוגניות טופוגרפית ומשינויים בלחץ ובעתו הרעייה. מכיוון שממשק הרעייה בחלקות הניסוי לא נתון לשינויים בלחץ או בעתו, לא מפתיעה התוצאה שהרעייה בקנה מידה גדול (אתר) לא משפיעה באופן ניכר על ההטרוגניות של הצומח. כלומר, בכל אתר הרכב הצומח תחת רעייה מראה דמיון רב להרכב הצומח באותו אתר ללא רעייה. לעומת זאת, בקנה המידה הקטן, הרעייה שומרת על הטרוגניות בכמה דרכים: אכילה בררנית של הצמחים, רמיסה, פיזור הטרוגני של נוטריאנטים בצורת שתן וצואה, והשפעות על התרומה של נשר צמחי לקרקע. פעולות אלו משפיעות על המגוון וההטרוגניות של הצומח, הן על-ידי השפעות ישירות על צמיחה ועל חלוקת הנוטריאנטים בתוך הצמח, והן באופן עקיף על-ידי שינויים בכתמיות של תכונות הקרקע ומשאביה (Golodets et al. 2011). ניתן לראות השפעות אלה בדרגות שונות באתרים השונים: באתר הטבעי, גריגה, אין כמעט הבדל בהטרוגניות של הצומח עם או ללא רעייה. לעומת זאת, באזור החיץ, בו נעשות פעולות כריתה, הרעייה אכן משפיעה על הרכב הצומח. כמו כן, בשתי החורשות, שהן למעשה בתי גידול מעשה ידי אדם, הרעייה מגדילה את ההטרוגניות בתוך בית הגידול.

3. לאור הניתוח הנוכחי ניתן להוסיף עוד מסקנה כללית: השוואה בין מגוון המינים ברמת החלקה למגוון המינים ברמת החתך מראה כי יש מגמת ירידה במגוון המינים ברמת החתך לאורך זמן ללא קשר לפעולות ממשק. ייתכן כי מגמה זו קשורה לרצף שנות הבצורת ברמת הנדיב בעשור האחרון. רצף של שנים יבשות עלול לגרום להיעלמות של מינים רגישים למים ששכיחותם מלכתחילה היתה נמוכה, ובכך לפגוע בעושר המינים. כמו כן, ייתכנו שינויים בהרכב ובמגוון המינים בגלל הבדלים בעמידות של מינים שונים לתנאי יובש וביכולתם להתחרות על משאבי הקרקע (Prieto et al. 2009). כלומר, המינים החזקים מתחזקים עוד יותר והחלשים נחלשים וכך נוצרת ירידה במגוון המינים. מעניין יהיה להמשיך לעקוב אחר שינויים במגוון המינים בעתיד, למשל, לראות האם שנה גשומה יכולה להביא לתיקון כלשהו למצב.

4. סילוק העצים מחורשת האורנים ומחורשת הברושים היה הכרחי מהבחינה של מניעת שרפות. מבחינת הצומח, פתיחת השטח בחורשת האורנים בעקבות דילול העצים המתים איפשרה כניסה של מינים נדירים לבית גידול זה, והעלה את עושר המינים, בעוד הרכב המינים לא השתנה באופן מהותי. כלומר, ניתן להסיק שדילול העצים בחורשה זאת היטיבה עם הצומח. בחורשת הברושים, סילוק כלל העצים לא השפיעה על הצומח בחלקת הביקורת מכיוון שעצי הברוש לא מטילים צל, ולכן, סילוקים לא 'פותחת' את השטח. מאידך, פעולה זו גרמה 'נזק' זמני בחלקת הרעייה, עקב התפרצות של סרפד הכדורים, שהתבסס בחלקה זו בשנת 2010 ועלה בתדירות בשנת 2014. כעת, אנו נדרשים לעקוב אחרי התאוששות הצומח בחלקה זו בכדי לעמוד על השפעתו ארוכת הטווח של סילוק העצים. בנוסף, כדאי לבחון דרכים להיפטר מהסרפד כדי למנוע התפרצויות נוספות בעתיד.

להלן מספר רעיונות לניתוחים עתידיים:

1. ניתן לבצע hierarchical diversity partitioning – שיטה המחשבת את המרכיבים השונים של מגוון מינים (alpha-diversity, beta-diversity) בקני מידה שונים באופן מקונן (חתכים בתוך שנים בתוך אתרים), הנותנת ביטוי כמותי לשינויים בהטרוגניות של הצומח בין קני המידה וההשפעה של הרעייה על ההטרוגניות בקני המידה השונים. קיימות פונקציות לניתוחים הללו בחבילת (vegan, multipart, adpart). אמנם לא בוצע ניתוח כזה בדו"ח הנוכחי אך כדאי לבצעו בדו"ח הבא, במיוחד לאור ההבדל הניכר במגמת מגוון המינים ברמת החלקה וברמת החתר.
2. ניתוח אשכולות (Clustering) בוצע בניתוח הנוכחי, הן על החלקות, הן על המינים. תוצאות ניתוח החלקות ברורות דיין אך לא כן ניתוח המינים. ניתוח המינים כפי שהוא לא מאפשר ללמוד על קבוצת מינים עם זיקה חזקה לכל טיפול או אתר ומה משותף בין המינים בכל קבוצה. יש צורך למצוא כיוונים אחרים לניתוח המינים. שתי אפשרויות הן anosim ו-simper, פונקציות שקיימות בחבילת vegan. שתיהן משתמשות במטריצת דמיון (או אי-דמיון). Anosim מבצעת ניתוח שונות א-פרמטרית על נתונים אקולוגיים, simper-i מבצעת אפיון של הרכב המינים בבתי גידול שונים עפ"י דמיון במינים המאפיינים. אפשרות אחרת היא פונקציית adonis, גם היא כלולה בחבילת vegan ומהווה ניתוח יעיל יותר מזו של anosim. קצרה היריעה מלהיכנס לכל היתרונות וחסרונות של שיטות אלה, וייתכן שיש גם אפשרויות נוספות.
3. כדי לעקוב אחרי שינויים בהרכב הצומח בחלקות השונות לאורך זמן, ניתן לבצע ניתוח בשם Principal Response Curves (PRC) בין אתרים וטיפולים. לצורך כך קיימת פונקציה בשם prc בחבילת BiodiversityR. ניתוח זה מאפשר השוואה של השינויים בהרכב הצומח לאורך זמן, בין הביקורת לטיפולים. ניתוח מסוג זה חייב להתבצע בנפרד עבור כל בית גידול, כאשר הביקורת הינה חלקות הביקורת, והטיפול הינו הרעייה, פרט לכבארה, שם אין חלקת ביקורת ולכן אין נקודת ייחוס. הניתוח הזה גם מאפשר לראות את המינים החשובים ביותר בקביעת השינויים בהרכב המינים. ניתוח ה- PRC יכול להצביע על מגמות ארוכות-טווח, ככל שמתווספות עוד ועד שנים לניתוח. מכיוון שבשלושת בתי גידול – אזור החיץ, גריגה וכבארה – הרכב המינים די יציב לאורך זמן, אין הצדקה לבצע ניתוח זה באתרים הללו. לעומת זאת, PRC יכול לשפוך אור על השינויים המתרחשים בחורשת האורנים ובחורשת הברושים, בהן בוצעו פעולות ממשק אחרות (דילול וסילוק עצים), אך נראה כי כדאי לחכות עם הניתוחים הללו עד שיצטברו יותר נתונים, במיוחד בחורשת הברושים, שם קיימת רק שנה-שנתיים של נתונים מאז שסולקו העצים.
4. בניתוחי השונות של הקבוצות התפקודיות נעשה שימוש בסכומי ההופעות לאורך החתכים, אך ייתכן ששימוש בערכים היחסיים ישקף יותר נכון את הרכב הקבוצות התפקודיות. ניתוח מסוג זה מצריך בניית מודל אחר ב-R. רעיון זה ייושם בדו"ח הבא.

## רשימת ספרות

- הדר ל., יובסה ד. ואונגר י.ד. 2013. חברת הצומח ברמת הנדיב – דינמיקה בזמן ובמרחב. מתוך: פרבולוצקי א. ממשק ושימור האקוסיסטמה הים תיכונית: רמת הנדיב כמשל. רמת הנדיב, מינהל המחקר החקלאי. עמ' 277-288.
- קנט ר. וכרמל י. 2011. דו"ח מסכם – ניתוח נתוני סקר צומח ברמת-הנדיב 2003-2009. דו"ח פנימי, רמת הנדיב.
- Golodets C, Kigel J & Sternberg M. 2011. Plant diversity partitioning in grazed Mediterranean grassland at multiple spatial and temporal scales. *Journal of Applied Ecology* 48: 1260-1268.
- Jost L. 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88: 1510-1520.
- Kindt R & Coe R. 2005. Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi. ISBN 92-9059-179-X.
- Lepš J & Šmilauer P. 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Maechler M. 2018. cluster: Finding Groups in Data: Cluster analysis extended Rousseeuw et al. R package version 2.0.7-1. <https://cran.r-project.org/web/packages/cluster/cluster.pdf>
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH & Wagner H. 2015. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Prieto P, Penuelas J, Lloret F, Llorens L & Estiarte M. 2009. Experimental drought and warming decrease diversity and slow down post-fire succession in a Mediterranean shrubland. *Ecography* 32: 623-636.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Roberts DW. 2016a. labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version 1.8-0. <https://CRAN.R-project.org/package=labdsv>
- Roberts DW. 2016b. optpart: Optimal Partitioning of Similarity Relations. R package version 2.2-0. <https://CRAN.R-project.org/package=optpart>
- Wickham H. 2007. Reshaping Data with the reshape Package. *Journal of Statistical Software*, 21(12), 1-20. URL <http://www.jstatsoft.org/v21/i12/>.
- Wickham H. 2009. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Wickham H. 2011. The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1), 1-29. URL <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>.

Wickham H, François R, Henry L, Müller K (2018b). dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.7.8, URL <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.