



ניתוח הצומח העשבוני בחלקות למחקר אקולוגי ארוך-טווח (LTER)

סיכום תוצאות 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 נדרש התערבות באמצעות ניהול אקטיבי (ממשק) כדי לצמצם את כיסוי הצומח המעוצה ולעודד חברת צומח עשירה. הרעיה, ככלי ניהולי, משנה את היחס בין הצומח המעוצה (לרוב שיחים) לצומח העשבוני. כאשר לחץ הרעיה גבוה, כיסוי המעוצים מצטמצם ונוצרת הזדמנות למינים המותאמים לרעיה (לרוב העשבוניים) להתבסס ולהגדיל את חלקם היחסי בחברה. בנוסף, הדינמיקה של הצומח תלוייה קנה-מידה וגם מפגינה שונות רבה לאורך זמן. במטרה לעודד מגוון ביולוגי ונופי עשיר, נעשה שימוש בכלי ממשק שונים המסייעים להאטת תהליכי הסוקצסיה. הכלי העיקרי הוא רעיית בקר מבוקרת, אשר גם משמשת כלי למניעת שריפות. בנוסף, הוחלה רעיית עיזים באזורים מסוימים. 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 הרעיה והשנה, ולתת מענה לשאלה:

באיזו מידה 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 ידעי הממשק בפארק ואיזה מצב מן הראוי לשמר?

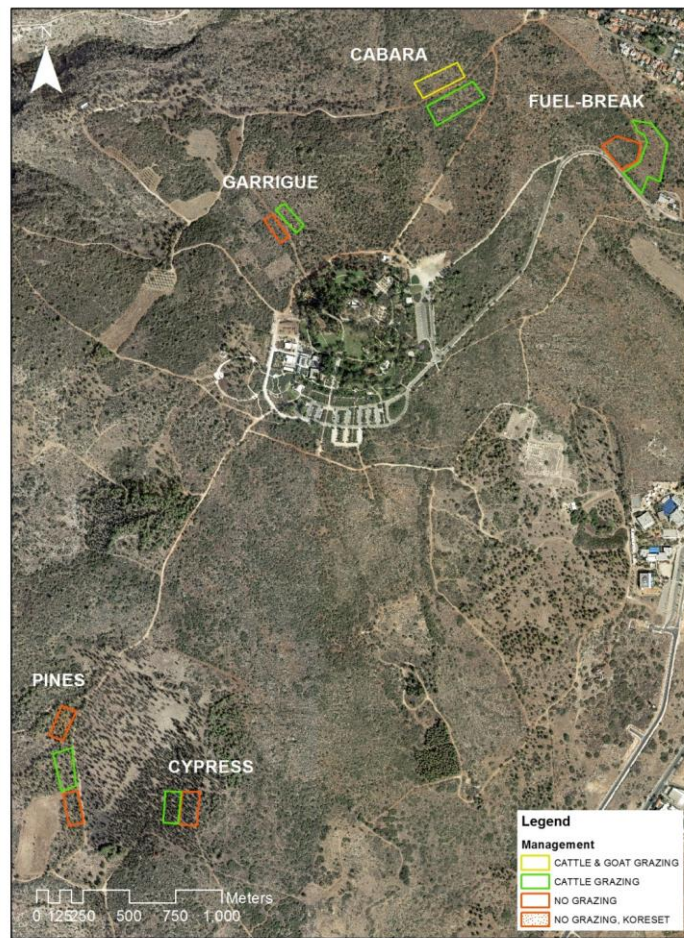
בעבר נותחו הנתונים שנאספו משנת 2003 עד שנת 2008 לפי המידע המוצג בטבלה 1 ותוצאות הניתוח פורסמו על-ידי הדר וחובריה (2013) בספר "ממשק ושימור האקוסיסטמה הים תיכונית: רמת הנדיב כמשל" (עורך: אבי פרבולוצקי). אשר מציג את המחקרים ברמת הנדיב. ב-2014 התבקשתי להמשיך את ניתוח הנתונים שנאספו ולבנות מערך שיאפשר ניתוח יעיל של הנתונים שייאספו בעתיד (אחת לשנתיים). בשלב הראשון התבקשתי לנתח את הנתונים שנאספו עד כה, כלומר, הנתונים מהתקופה 2003-2008 בתוספת נתונים שנאספו בשנים 2009 (חלקת גריגה תחת ביקורת בלבד), 2010, 2012 ו-2014. בנוסף לניתוח עצמו, התבקשתי להכין דו"ח להצגת התוצאות ולהציע המלצות להמשך ממשק הרעיה ושימור הצומח. מאז הכנת הדו"ח התווספו נתונים משנת 2016 ומשנת 2018. הדו"ח הנוכחי מציג את ניתוח הנתונים עד שנת 2018 לפי המתכונת של קודמו (גולודיאץ 2016) עם מספר שינויים וניתוחים חדשים: שכלול ניתוח היציבות, כך שהיציבות מחושבת עבור כל חלקה וחלקה, וניתוח אשכולות על מסד הנתונים שמשלים את תוצאות האורדינציה.

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 הרעיה על הצומח, הוקמו שתי חלקות בכל אתר – אחת הנתונה לרעיית בקר והשנייה מוגנת מרעיה 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 הרעיה. הדגימה בוצעה בריבועים בגודל 50x50 ס"מ הממוקמים לסירוגין בצד 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 הדגימה 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, התמלא חלקת הרעייה באתר זה בצמחי סרפד ולא נדגם (הדר ל., תקשורת אישית).

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



הניתוח של הדר וחבריה (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 מהדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016; שנים 2003 - 2014) בתוספת נתונים מהשנים 2016 ו-2018. הניתוח בוצע בתכנת R (R Core Team 2015), תכנה חנימית, רב-תכליתית הנמצאת בשימוש נרחב ביותר במחקר האקולוגי העכשווי, ואשר ניתן לבצע בה את מירב הניתוחים הרצויים לנו. לצד דו"ח מוגשים הקודים שכתבתי 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 ושיוכם 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 וחובריה (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, כפי שהוסבר בניתוח הקודם (גולודיאץ 2016), 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:

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

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, אתיחס לשני האחרונים כ"מגוון Shannon" ו-"מגוון Simpson", בהתאמה. חישוב ערכי q נעשה באמצעות פונקציות Renyi בחבילת vegan (Oksanen et al. 2015) – חבילה הכוללת שלל פונקציות לניתוח נתונים אקולוגיים. השתמשתי 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 וחובריה (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. כפי שעשיתי בניתוח הקודם (גולודיאץ 2016) ביצעתי 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, השתמשתי 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 הוספתי את 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 השתמשתי 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

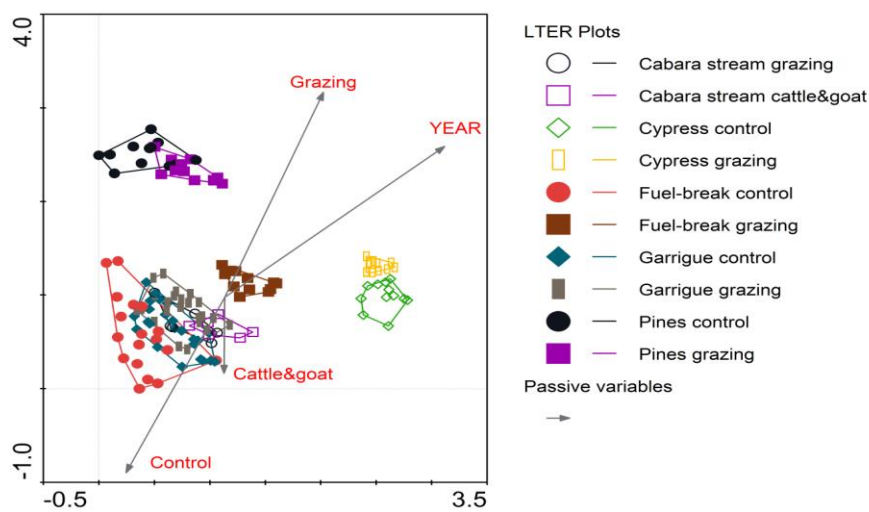
שנה	אתר									
	כבארה		חורשת אורנים			חורשת ברושים		אזור חיץ		גריגה
	בקר ועזים	בקר	ביקורת	בקר	קורסת	ביקורת	בקר	ביקורת	בקר	בקר
2003								*		
2005								*	*	*
2006			*	*		*	*	*	*	*
2008	*	*	*	*		*	*	*	*	*
2009										*
2010	*	*	*	*		*	*	*	*	*
2012	*	*	1*	1*		*	*	*	*	*
2014			2*	2*	2*	*	*	*	*	*
2016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

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

אורדינציה. האורדינציה בוצעה ע"י NMDS (Non-Metric Multidimensional Scaling). יתוח 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 MetaMDS. vegan 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 וחובריה (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.

ניטוח אשכולות. בכדי להבין יותר את השפעה של פעולות ממשק 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) ביניהם. לפי שטית קיבוץ אשכולות (Hierarchical nesting (agglomerative clustering)) אשכולות קטנות מקובצות לאשכולות גדולות 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 לדיוח זה מתבצע ב-R ע"י שימוש בפונקציית agnes בחבילת cluster. לצורך הכנת מטריצת אי-דמיון (dissimilarity matrix), ניתן להשתמש בפונקציית vegdist מחבילת vegan. קיימות מספר פונקציות ליצירת מטריצת אי-דמיון, אך vegdist מציעה המבחר הגדול ביותר של מדדים של אי-דמיון, כל אחד בהתאם לסוג הנתונים. לצורך הניתוח הנוכחי, בחרתי במדד Jaccard. אציון שקיימת אפשרות להתשמש בנתונים הגולמיים וליצור את המטריצה דרך agnes אך agnes מציעה מספר קטן מאוד של מדדי אי-דמיון, ולכן העדפתי ליצור את המטריצה ע"י vegdist. בוצע גם ניתוח אשכולות על המינים בניסיון להבין את הזיקה של מינים לאתרים/טיפולים השונים. לצורך ניתוחי האשכולות הסרתי את המינים ההופיעה 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 בנתונים השלם הכולל את אתרי הרעייה והביקורת מארבע שנות הדגימה 2003, 2005, 2006 ו-2008. המשתנים הפאסיביים הם שנת הדגימה, ביקורת, רעייה (בקר) ורעיית בקר ועיזים. כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת. האיור לקוח מהדר וחובריה (2013).



יציבות המינים. ביצעתי ניתוח יציבות כפי שעשיתי בניתוח הוקדם (2003-2014), אך עם שכלול שאפשר להבחין את היציבות בתוך כל חלקה לאורך זמן. בשלב הראשון חישבתי את מספר המינים הכללי לכל שנה משנות הדגימה (2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016 ו-2018), את מספר המינים המשותף לכל שנת דגימה עם שנת הדגימה העוקבת ואת מספר המינים המשותף לכל שנות הדגימה. חזרתי על הפעולה רק עבור שנות הדגימה בהן נדגמו כל החלקות בכל האתרים (2008, 2010, 2012, 2018). בשלב השני בחנתי את יציבות המינים לאורך השנים בתוך חלקה. בניתוח הקודם (גולודיאץ 2016) בחנתי בנפרד את היציבות בשני הטיפולים, ולאחר מכן בחמשת האתרים, אך מכיוון שיש אינטרקציה בין שני הגורמים מתאים יותר לבחון את היציבות בכל חלקה וחלקה. לצורך כך כתבתי קודים נוספים להכנת הקבצים הנדרשים. לצורך ביצוע ניתוח היציבות השתמשתי בפונקציית const מחבילת labdsv (Roberts 2016a) ופונקציית compare מחבילת optpart (Roberts 2016b). שתי החבילות הללו, כמו BiodiversityR, כוללות שלל פונקציות למניפולציה וניתוח של נתונים אקולוגיים ברמת החברה. הפונקציית 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. הפעלתי const בנפרד עבור כל חלקה, כאשר "שנה" הייתה הגורם המקבץ. לאחר מכן הפעלתי את פונקציית compare שמשווה את אחוז ההופעות של כל מין בין שתי שנים עוקבות ומייצר 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 הקודם (גולודיאץ 2016) על התקופה 2003-2014 (440 מינים) וכלל עלייה במספר המינים של כל מהקבוצות 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. אחד המינים שנוסף לרשימת המעוצים היה פואה מצויה שהושמטה בטעות מרשימת המעוצים בדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016).

כאשר בוחנים את שיעור ההופעות של הקבוצות התפקודיות מול שיעור 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, סוככיים וקטניות – כנראה מכיוון שמינים אלה קטנים/נדירים יותר. לעומתן, בקבוצות אחרות שיעור ההופעות גבוה משיעורן 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 הופעות (%)
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
סוככיים	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 השתנה קלות בעקבות תוספת נתונים משתי שנות דיגום (2016, 2018). כל הקבוצות מיוצגות למעט דגניים רב-שנתיים, מצליבים וטפילים. הרכב הרשימה שמרה על יציבות יחסית לניתוח הקודם (גולודיאץ 2016; שנים 2003 - 2014), כשרוב המינים נשארו במקום או עלו/ירדו מקום אחד. שישה מינים הראה שינוי יותר גדול בסדר הופעתם: שיבולת-שועל נפוצה שעלה 12 מקומות, מרקולית מצויה וזלזלת הקנוקנות שעלו 3 מקומות, קחווני מצוי, לחך כרתי וגרניון הארגמן שירדו 2, 3 ו-4 מקומות בהתאמה. שני מינים מהניתוח הקודם (גולודיאץ 2016) נשמטו מהרשימה – שררדיה מצויה וחרחבינה מכחילה, ואילו שני מינים נוספו לרשימה – זנב-עקרב שיכני (שהופיע בניתוח של הדר וחובריה (2013)) ולחך בלוטי. ייתכן שהעליה המרשימה בשיבולת

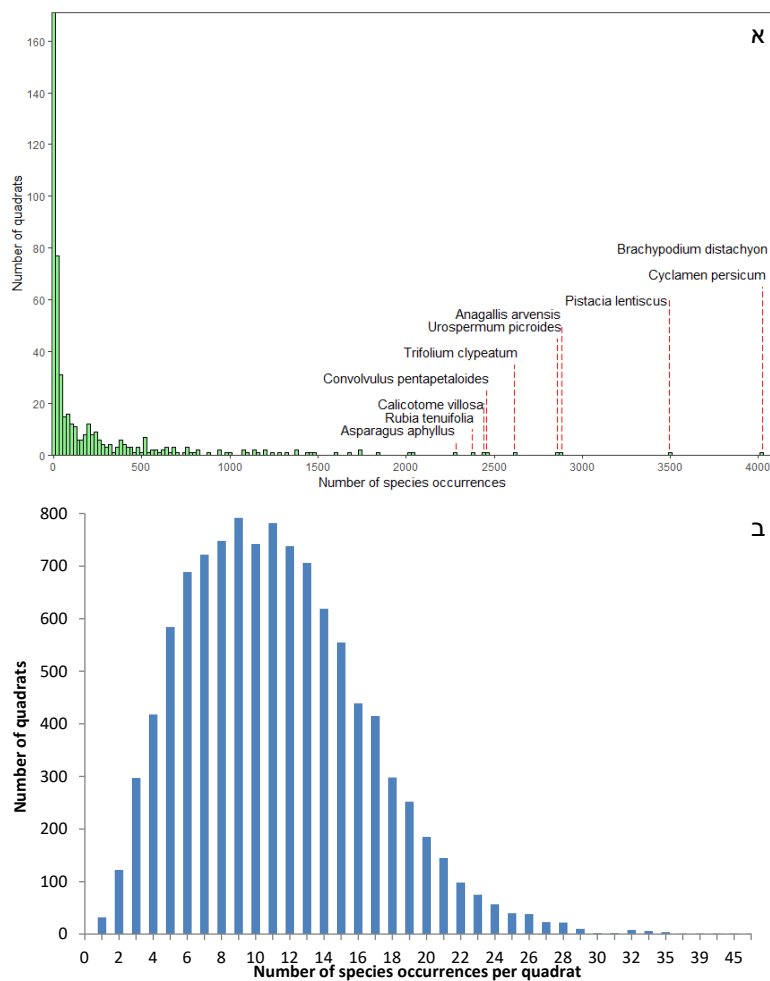
שועל נפוצה נובעת מכריתת כל העצים בחלקת הברושים לאחר מותם. פתיחת הנוף מאפשרת כניסה של מינים שמעדיפים תנאים פתוחים יותר.

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

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 הדגימה.

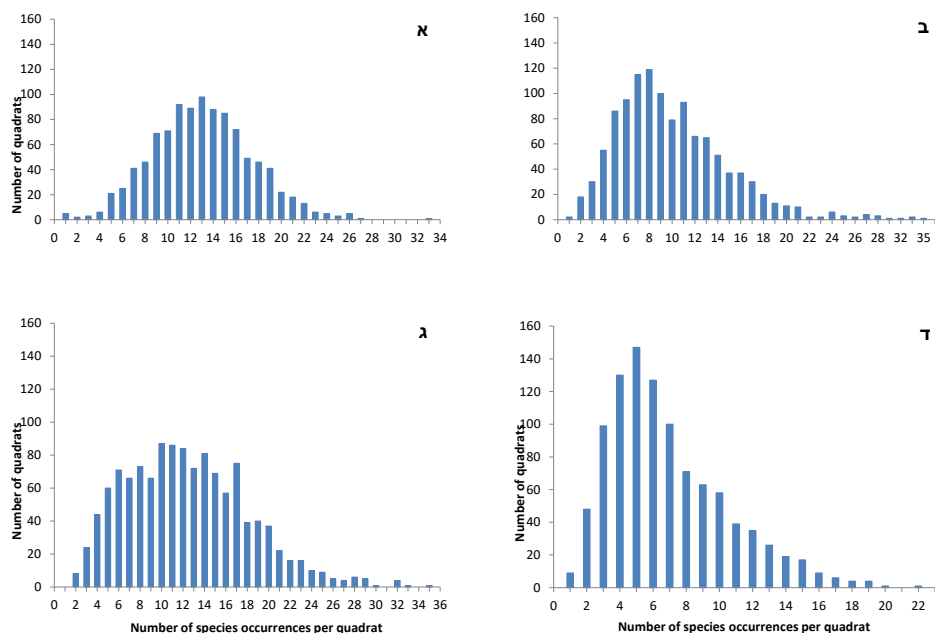
א. התפלגות תדירויות המתייחסת למספר הפעמים שבהן הופיע המין במסד הנתונים.
 ב. התפלגות תדירויות של מספר המינים שנמצאו בריבוע דגימה. ממוצע = 11.2; חציון = 11; סטיית תקן = 5.27.



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

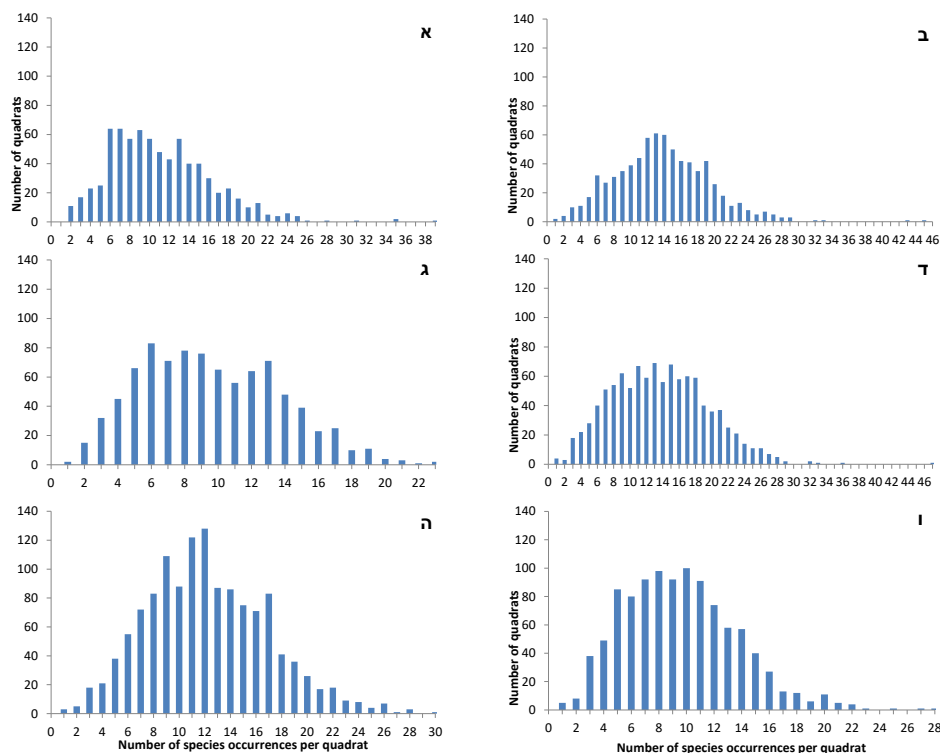
34 מינים עם מעל 1,000 הופעות ו-70 מינים עם מעל 500 הופעות, המהווים 73% של כלל ההופעות (87403 מתוך 119772). מאידך, נמצאו 171 מינים עם 1-10 הופעות, מתוכם 35 מינים אשר נמצאו בריבוע אחד בלבד. בין 35 המינים הללו היו מספר מינים חדשים לסקר, כולל שלושה מינים מצויים בכרמל אך נדירים בשאר האזורים בארץ (טוריים קטנים) וברוב האזורים (איריס ארץ ישראלי [נדיר בצפון הארץ], כתרן זעיר-פרח [מצוי בכרמל ובגליל העליון]), אך נמצא גם מין אחד נדיר בכרמל (קורטס 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 4. התפלגות התדירויות של מספר המינים שהופיעו בריבוע דגימה בגודל 0.5×0.5 מ' באתרים השונים. מבוססת על נתונים מחלקות הביקורת בלבד ומהשנים 2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016 ו-2018. ממוצע וסטיית תקן לכל אתר: חורשת הברושים (א) – 13.06 ± 4.42 , אזור החיץ (ב) – 9.99 ± 4.91 , גריגה (ג) – 12.41 ± 5.70 , חורשת האורנים – 6.88 ± 3.60 .



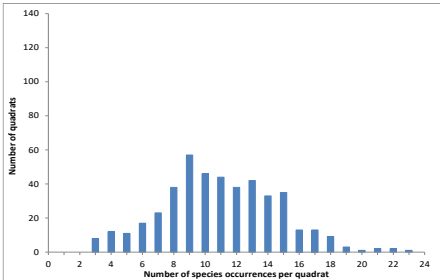
מהתפלגות תדירויות מספרי המינים בחלקות הביקורת (איור 4) אנו רואים תוצאות דומות לניתוחים הקודמים (גולודיאץ 2016, דר וחובריה 2013), כאשר מספר המינים יורד לפי הסדר הבא: חורשת הברושים < גריגה < אזור החיץ < חורשת האורנים. נראה שהבדלים אלה נובעים מכמות הצל בבתי הגידול השונים – עצי אורן בחורשת האורנים וצמחי 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 5. התפלגות התדירויות של מספר המינים שהופיעו בריבוע דגימה בגודל 0.5×0.5 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 ± 5.22 , כבארה בקר ועזים (ב) – 13.79 ± 5.69 , חורשת הברושים (ג) – 9.60 ± 4.20 , אזור החיץ (ד) – 13.71 ± 5.93 , גריגה (ה) – 12.24 ± 4.78 , חורשת האורנים (ו) – 9.56 ± 4.15 .



מהתפלגות תדירויות מספרי המינים בחלקות הרעייה (איור 5) אנו רואים כי, כמו בניתוח הקודמים (גולודיאץ 2016, דר 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 נמצא 30 מינים או יותר לריבוע היו בחלקות הביקורת של אזור החיץ (5), גריגה (6) וחורשת 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 6. התפלגות התדירויות של מספר המינים שהופיעו בריבוע דגימה בגודל 0.5 x 0.5 מ' בחלקת קורסת בחורשת האורנים. מבוססת על נתונים מהשנים 2014, 2016 ו-2018. ממוצע וסטיית תקן: 10.98±3.68.



מהתפלגות תדירויות מספרי המינים בחלקות 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
F	לחר מצוי	F,G	עירית גדולה	F,G,CA	אלת המסטיק	F,G,CA	רקפת מצויה	F,G,P,CA עוקצר מצוי
F	טרשנית שרועה	F,C	שבולת שועל נפוצה	F,G,CA	קידה שעירה	F,G,CA	אזנב מצוי	F,G,C,CA
F	מרוזה דגולה	G,P	פואה מצויה	G,C,CA	חבלבל עדין	G,C,CA	מרגנית השדה	G,C,P,CA
G	טמוס מזרחי	C,P	תלתן תריסני					
C	שררדיה מצויה							
C	חרחבינה מכחילה							
C	ברוש מצוי							
C	בקבוקון מקומט							
P	אספרג החורש							
P	מרקולית מצויה							
P	גרניון הארגמן							

							P	כותלית פורטוגלית
							P	זלזלת הקנוקנות
							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 דומה לזו מופיע בדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016), מה שמצביע על יציבות בזיקה של מינים לבית גידול מסויים. אך היו כמה שינויים בשכיחות של מינים מסויימים בכל אתר בעקבות שינויים בהרכב המינים, כדלהלן: שבולת שועל נפוצה עלתה על חשבון אשחר ארץ ישראלי באזור החיץ (F), טמוס מזרחי עלה על חשבון שום שעיר בגריגה (G), שבולת שועל נפוצה ובקבוקון מקומט עלו על חשבון כלנית מצויה וקחון מצוי בחורשת הברושים (C), וכותלית פורטוגלית ועוקצר מצוי עלו על חשבון אורן ירושלים (עצים שמתו וסולקו מהחלקה) ואזנב מצוי בחורשת האורנים (P).

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 12 המינים נפוצים בשני הטיפולים. רשימה זו שונה במקצת משמות המינים בניתוח הקודם (גולודיאץ 2016), ושיוכים לרעייה/ביקורת כדלהלן: קידה שעירה ותלתן תריסני נפוצים עכשו בשני הטיפולים ואילו בניתוח הקודם (גולודיאץ 2016) קידה שעירה היתה נפוצה יותר תחת ביקורת בעוד שתלתן תריסני היה נפוץ יותר תחת רעייה. לעומת זאת, אספרג החורש נפוץ בביקורת ואילו בניתוח הקודם (גולודיאץ 2016) היה נפוץ בשני הטיפולים. בנוסף, זלזלת הקנוקנות יצאה מהרשימה. מאז הניתוח הקודם (גולודיאץ 2016, שנים 2003 - 2014), לא חלו שינויים במשטר הרעייה, ותוצאות הניתוח ההוא היו זהות לניתוח של הדר וחובריה (2013). ניתן להסיק שהשינויים שאנו רואים כאן נובעים מסילוק הברושים בחורשת הברושים והשינויים שחלו בהרכב המינים באתר זה.

ניתוחי שונות:

מכיוון שבניתוח הקודם (גולדיאץ 2016; שנים 2003 - 2014) לא נראה הבדל בין השפעת הטיפולים על מגוון Shannon ומגוון Simpson, בניתוח הנוכחי ובניתוחים הבאים אתמקד במגוון Simpson בלבד, לצד עושר 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 ~ treatment * site/year

כאשר המשתנה year היה מקונן בתוך אתר, כמדידה 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 2018-2003)

שנה	אתר		חורשת אורנים		חורשת ברושים		אזור חיץ		גריגה	
	בקר	בקר ועזים	בקר	ביקורת	בקר	ביקורת	בקר	ביקורת	בקר	ביקורת
2003									167	163
2005									144	149
2006									137	144
2008	170	149	87	73	147	129	155	139	152	151
2009									167	
2010	162	155	93	67	140	146	183	152	150	157
2012	184	175	105	68	119	138	188	149	166	148
2014				105	133	145	167	131	158	157
2016	147	131	119	110		150	152	134	161	134
2018	166	153	115	129	142	114	146	147	164	158

המודל:

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

סיכום:

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 חיץ בלבד, אך אין השפעה של רעייה באתרים האחרים. בחלקות הביקורת, מגוון Simpson נמוך יותר בחורשת האורנים מאשר באתרים האחרים, וגבוה יותר 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 וטיפולים בשנת 2006 ומאז, מדד זה יורד בהדרגה עם הזמן.

לסיכום: מגוון Simpson גבוה ביותר באזור החיץ תחת רעייה. לא היתה של רעייה על מדד זה באף אתר אחר, למרות הבדלים בעושר מינים בין טיפולים, כלומר, המינים העיקריים והדומיננטיים הם אותם מינים בשתי חלקות של אותו אתר, חוץ מבאזור החיץ, שם מתבצע כריתה של הצומח המעוצה שמשנה מאוד את הרכב ומגוון הצומח. מגוון Simpson היה גבוה ביותר בחלקת הביקורת בחורשת הברושים. נתון מעניין אחר הוא הירידה 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 ~ site/year

כאשר המשתנה year היה מקונן בתוך אתר, כמדידה חוזרת.

תיקון Bonferroni עבור גורמים הנבחנים:

גורם	מספר רמות	מובהקות של P למבחן בודד
אתר	5	0.01
אתר X שנה	4 X 5	0.0033

לסיכום: תיאור מפורט לא נכלל מכיוון שהוספת האתר כבארה לניתוח לא שינתה את המגמות הכלליות. הכבארה דומה לגריגה בעושר ומגוון מינים, אם כי המדדים נמוכים במקצת בכבארה לעומת הגריגה.

סיכום כולל לעושר ומגוון מינים:

עושר או מגוון מינים גבוהים ביותר באזור החיץ, ונמוכים ביותר בחורשת האורנים; הרעייה מעלה את עושר ומגוון באזור החיץ. בגריגה אין השפעה כללית של הרעייה על עושר או מגוון המינים. בתוך חלקות הביקורת מגוון המינים גבוה יותר בגריגה מאשר באזור החיץ, תוצאה שמצביע על שוויוניות גבוהה יותר בגריגה לעומת אזור החיץ. בחלקות הרעייה, עושר מינים גבוה יותר באזור החיץ ונמוך ביותר בחורשת האורנים. מגוון המינים מראה מגמות דומות.

פתיחת השטח בעקבות דילול עצי האורן בשנת 2012 הובילה לעלייה בעושר המינים בשתי החלקות באתר זה בשנת 2014. עושר המינים נשאר גבוה גם בשנת 2018 מנגד, לא נמצאה השפעה על מגוון Simpson, כלומר, התווספו מינים נדירים יותר לחלקה. בחלקת הברושים, סילוק עצי הברוש בשנת 2016 לא השפיעה על עושר המינים בחלקת הביקורת, אך בחלקת הרעייה, השילוב של סילוק העצים ורעיית בקר הוביל לכיסוי רב של סרפד באותה שנה (הדר ל, תקשורת אישית) – צמח שמאפיין שטחים מופרים. לאחר שנתיים, נדגם עושר מינים יחסית נמוך לשנים הקודמות. ניתן להתייחס לנתון זה כהתאוששות מההפרעה הכפולה בשנת 2016. בחלקת הביקורת לא היתה הפרעה נוספת לסילוק הברושים ומכיוון שברושים הם עצים זקופים שלא מטילים צל, סילוק העצים לא הוביל לפתיחת השטח ולכן לא חלו שנויים בעושר המינים. השינויים שחלו בחלקת הרעייה הובילו לתוצאה של השפעה לכאורה "שלילית" של הרעייה על עושר ומגוון מינים בחורשת הברושים.

ניתוח זה נעשה על נתונים ברמת החתך, ואילו הנתונים המוצגים בטבלה 5 ובטבלה 6 הם ברמת החלקה. ניתן לראות כי השינויים המפורטים לעיל בחורשת האורנים ובחורשת הברושים ברמת החתך ניכרים גם ברמת החלקה. פרט לשינויים הללו לא נמצאה השפעה של זמן על עושר המינים. מנגד, מגוון Simpson ברמת החתך הראה מגמת ירידה משנת 2006 והלאה בכל החלקות שנדגמו בסקר זה, כפי שניתן לראות בטבלה 7. ברמת החלקה (טבלה 6) אנו לא עדים לשינוי זה. מכיוון ששינוי זה חל בכל החלקות ולא בטיפול מסוים ניתן להסיק כי הירידה במגוון ברמת החתך היא תופעה על כלל השטח שמתרחשת בקנה מידה של החתך – ירידה בשוויוניות של הצומח, כלומר, המינים הדומיננטיים נעשים דומיננטיים יותר והנדירים נעשים נדירים יותר. אך ברמת החלקה המגמה לא קיימת מכיוון שההטרובגיות בין החתכים נשמרת.

טבלה 7. מגוון Simpson ברמת החתך (ממוצע של 6 חתכים) לפי האתר, טיפול הרעייה ושנת הדגימה (מבוסס על נתוני השנים 2003-2018)

שנה	אתר כבארה		חורשת אורנים			חורשת ברושים		אזור חיץ		גריגה	
	בקר ועצים	בקר	ביקורת	בקר	קורסת ¹	ביקורת	בקר	ביקורת	בקר	ביקורת	בקר
2003								45.61		48.29	
2005										44.11	37.51
2006				6.22	9.46	26.45	25.78	23.25	29.38	23.32	19.09
2008	12.85	11.58	3.25	4.84		15.17	14.74	8.41	13.62	8.55	8.04
2009											8.18
2010	11.09	7.53	2.86	4.14		8.56	6.11	6.36	9.62	6.76	7.11
2012	7.90	6.00	2.73	3.46		*5.15	3.90	*4.63	6.78	5.30	*5.84
2014			*3.39	4.42	3.85	5.84	3.67	2.98	5.37	3.71	4.37
2016	4.06	3.51	2.48	3.06	2.90	4.66		2.93	3.55	3.27	3.79
2018	4.39	3.22	2.40	2.75	2.51	3.22	1.81	2.62	3.31	2.72	3.39

ב. קבוצות תפקודיות:

ההשפעות של טיפול, אתר והאינטרקציה ביניהם על כל הקבוצות התפקודיות מוצגות בטבלה 8. עבור כל קבוצה בנפרד אציג את 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/רעייה)

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 היה מקונן בתוך אתר, כמדידה חוזרת.

תיקון Bonferroni עבור גורמים הנבחנים:

גורם	מספר רמות	מובהקות של P למבחן בודד
אתר	4	0.0125
טיפול $\times$ אתר	4×2	0.00625
טיפול $\times$ אתר $\times$ 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 $\times$ site	3	12641	4214	62.25	<0.0001
Treatment $\times$ site $\times$ 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 $\times$ site	3	22513	7504	53.896	<0.0001
Treatment $\times$ site $\times$ 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 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 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 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 X site	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 X site	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 X site	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 X site	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	32	4254	133	3.244	<0.0001

site X year					
Residuals	196	8033	41		

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

המודל ב-R: $Y \sim \text{site/year}$

כאשר המשתנה year היה מקונן 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 היתה לבחון את המגמות בתדירות הקבוצות התפקודיות בכבארה. נמצא כי תדירותן של חלק מהקבוצות בכבארה היתה דומה לתדירותן בגריגה (מורכבים, מטפסים, מצילבים, גיאופיטים, דגניים חד-שנתיים, עצים ושיחים), תדירותן של קבוצות אחרות בכבארה היתה דומה לתדירותן בחורשת האורנים (דו-פסיגיים נוספים). התדירות של הקבוצות הנותרות (קטניות, דגניים רב-שנתיים, סוככים) היתה 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 והסוככים 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 וברושים 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 התפקודיות – דו-פסיגיים נוספים (רעייה בלבד), סוככים (ביקורת בלבד) וקטניות עלו ב-2014 וירדו בחזרה ב-2018.

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

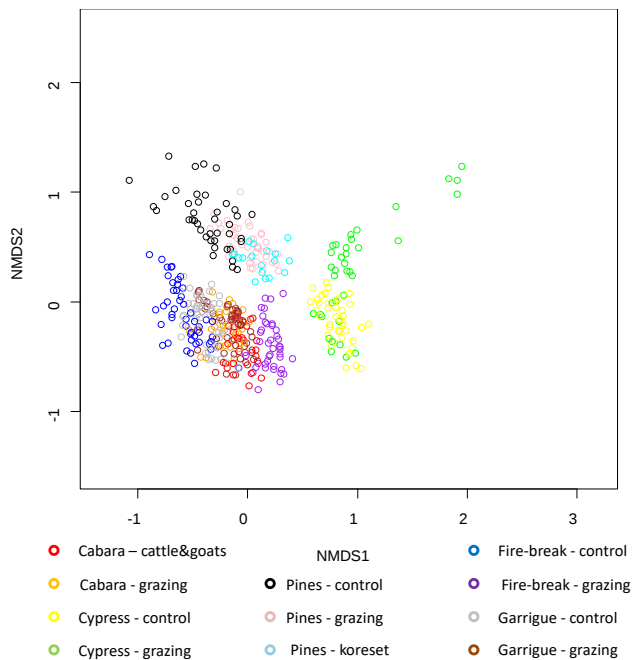
קבוצה	זיקה לטיפול	זיקה לאתר	זיקה לטיפול בכל אתר	זיקה לאתר בכל טיפול	השפעות עתיות בחורשת הברושים וחורשת האורנים
דגניים חד-שנתיים	רעייה	ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים	אזור חץ ואורנים: רעייה ברושים: ביקורת גריגה: אין השפעה של טיפול	ביקורת: ברושים < אזור חץ וגריגה < אורנים רעייה: ברושים ואזור חץ < גריגה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

אורדינציות:

א. הרכב מינים:

1. NMDS בוצע על בסיס הנתונים השלם.

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.

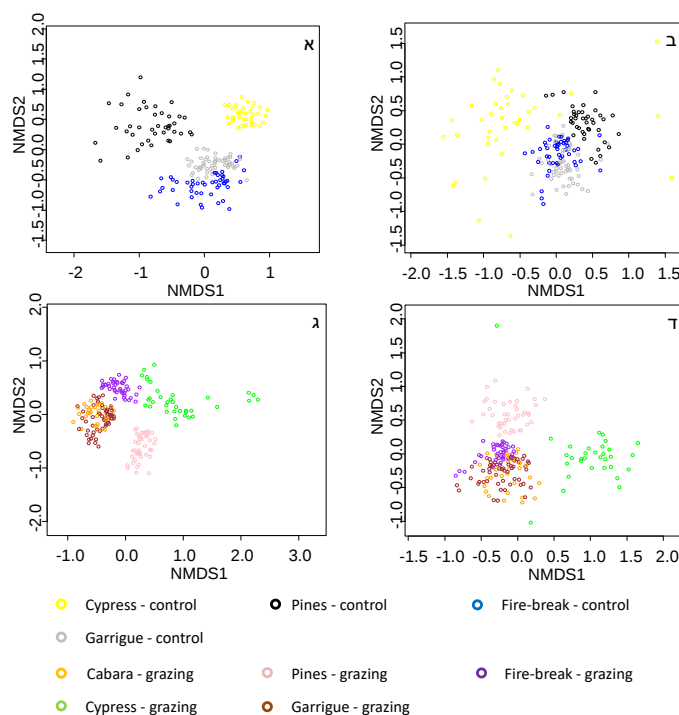


באיור 7 עדיין ניכרת ההפרדה של הנתונים לשלוש קבוצות: חורשת הברושים (צד ימין), חורשת האורנים (צד שמאל למעלה) וקבוצה שלישית בצד שמאל למטה הכוללת אזור החיץ, הגריגה והכבארה, בתוכה ניכרת ההפרדה בין חלקת הביקורת וחלקת הרעייה של אזור החיץ. בחורשת האורנים ניכרת הפרדה בין חלקת הביקורת לחלקת הרעייה וחלקת הקורסת (שהיתה תחת רעייה עד שנת 2012). אציון שהרכב הצומח בחלקת קורסת עדיין דומה מאוד להרכב המינים בחלקת הרעייה. בחורשת האורנים הרחבתי בדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016) על ההטרוגניות הנמוכה בקנה מידה הקטן (רמת הריבוע) יחסית לאתרים האחרים, לעומת ההטרוגניות הגבוהה בקנה מידה הגדול (רמת החתך) שנראה גבוהה יותר מהטרוגניות 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 נבעה לרוב מירידה חדה בעושר המינים (לרוב דו-פסיגיים וקטניות) בחלקה זו וגם ירידה ניכרת בשוויוניות.

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.

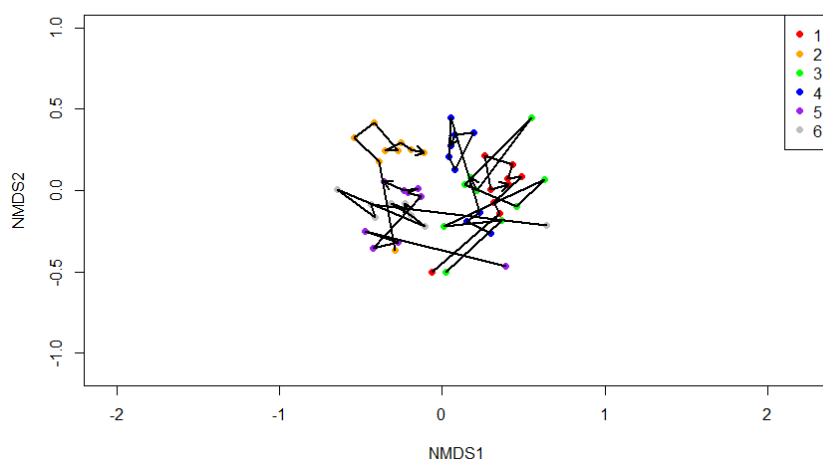
מהשוואה בין הניתוח הנוכחי (ראה להלן איור 8) לניתוח הקודם (גולודיאץ 2016) לתקופה 2003-2014, נראה שהמגמות נשמרו – נראה שרוב המגמות נשמרו: (א) חלוקת האתרים לפי הרכב הצומח לשלוש קבוצות (כמו שניתן לראות באיור 7) – אזור החיץ, גריגה וכבארה בקבוצה אחת, חורשת האורנים וחורשת הברושים, (ב) הדמיון הרב בין הרכב הצומח המעוצה בחורשת האורנים, אזור החיץ והגריגה בחלקות הביקורת; (ג) היבדלות הרכב הצומח העשבוני באזור החיץ לעומת הגריגה וכבארה בחלקות הרעייה, ו- (ד) העליה 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 וקבצ 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 ועדים באתר כבארה) הכולל את אתרי הרעייה והביקורת מעשר שנות הדגימה (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 דגימה (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 הדגימה האחרונות.

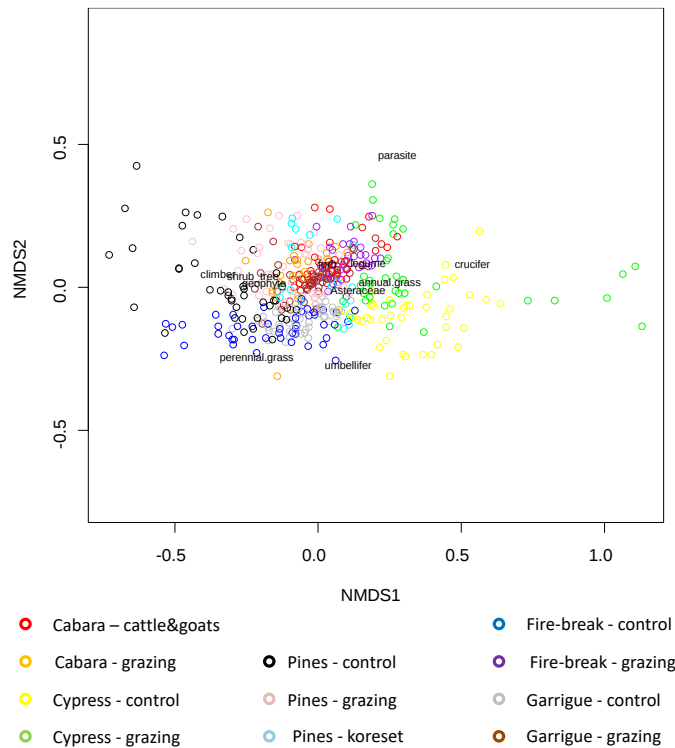


התבוננות באורך הצירים באיור 8 מגלה שטווח השינויים בהרכב המינים בין חתכים ושנים יחסית צר. אף-על-פי-כן, ניתן לראות כי בכל החתכים למעט החתכים 4 ו-5, חל שינוי משמעותי בהרכב המינים משנת 2003 (שנת הקמת החלקות) לשנת 2005. נראה שהחתכים מתחלקים לשתי קבוצות – 1, 3 ו-4 בקבוצה אחת ו-2, 5 ו-6 בקבוצה השנייה, אך בתוך כל קבוצה, כל חתך משתנה משנה לשנה באופן עצמאי, מה שמשקף את ההטרוגניות המרחבית בסקאלה של התחכים. בשנתיים האחרונות נראה כי השינויים היו מאוד קטנים 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. בניתוח זה הוספתי את הקבוצות התפקודיות באיור בנסיון לחבר בין קבוצות לאתרים או טיפולים. כפי שנראה באיור 9, אין הבדל ברור בהרכב הקבוצות התפקודיות בין האתרים, כפי שנמצא גם בדו"ח הקודם (גולדיאץ 2016; שנים 2003 - 2014). אדרבה, הניתוח הנוכחי אף פחות ברור מקודמו בגלל שינויים הייחודיים בהרכב הצומח בחתכים של חלקת הרעייה בחורשת הברושים. MetaMDS ביצעה טרנספורמציה שורש על הנתונים לפני האורדינציה.

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 הדגימה (2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018). כל נקודה במרחב מייצגת חתך אחד בשנה אחת על בסיס הקבוצות התפקודיות.

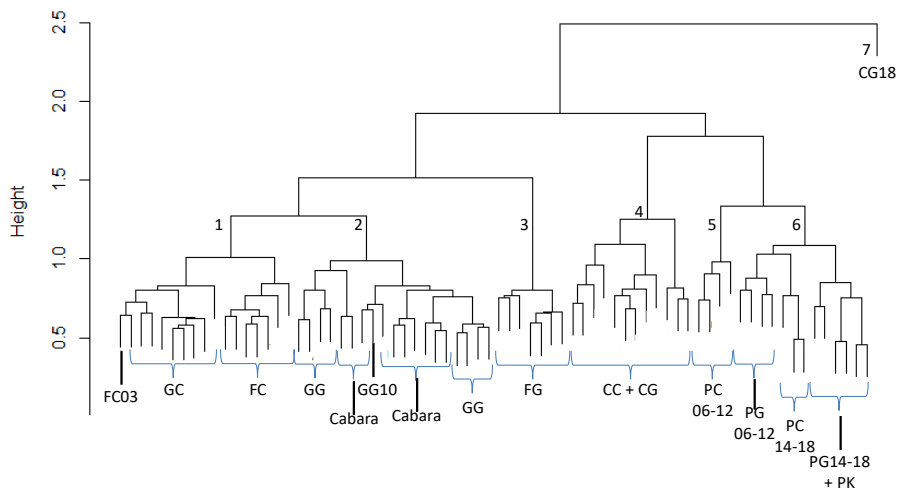


ג. ניתוח אשכולות

Commented [C1]: Add in about species clustering

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, השוואת בין שנים רבה יותר מהשוואת בין חתכים, ולכן סביר להניח שפעולות ממשק המבוצעות על חלקה מסוימת ישפיעו במידה דומה על כל החתכים. איור 10 להלן מציג את תוצאות ניתוח האשכולות.

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



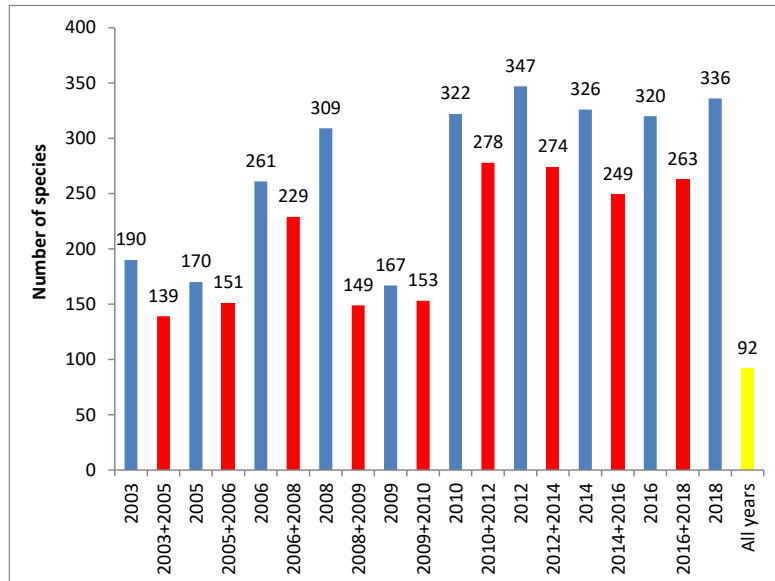
איור 10 מאשש את תוצאות האורדינציה ושאר הניתוחים. קבוצה 1 כוללת את חלקות הביקורת של אזור החיץ והגריגה, קבוצה 2 כוללת את חלקת הרעייה של הגריגה ושתי חלקות הכבארה (להזכיר ששתי חלקות אלו תחת רעייה – רעיית בקר ורביית בקר ועזים). קבוצה 3 כוללת את חלקת הרעייה של אזור החיץ וקבוצה 4 כוללת את שתי החלקות של חורשת הברושים. אך 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 שתארתי 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 לשלוש אשכולות קטנים יותר – חלקת הרעייה עד 2012, חלקת הביקורת מ-2014 והלאה ועוד אשכול של חלקת הרעייה מ-2014 וחלקת 'קורסת'. שוב אציין 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.

יציבות המינים

כללי:

מספר המינים אשר נרשמו משנת לשנה מופיע באיור 11 למטה. בנוסף, ניתן לראות את מספר המינים המשותף לכל זוג של שנים עוקבות. מעניין לציין שמספר המינים המשותף לכל שנות הדגימה נמוך יחסית (92 מינים בלבד). תוצאה זו נובעת מהשונות בין-שנתית בתנאי האקלים שמטפיעה 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 שה 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 לשדר להם מינים בשלב הניקיון של מסד הנתונים לקראת הניתוח הקודם (גולודיאץ 2016; 2003 - 2014). 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 שכל האתרים נדגמו.

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 הדגימה בחלקות הביקורת (2003, 2005, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018).

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

¹אזור החיץ לא נדגם בשנת 2005

עיון ביציבות בחלקות הביקורת (טבלה 10) מגלה כי היציבות בחורשת האורנים, חורשת הברושים ואזור החיץ עומד 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 עם 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 שנרשם בחורשת הברושים בין שנת 2014 לשנת 2018 נובעת מהעובדה כי לאחר ההפרעה הכפולה של סילוק הברושים ורעיית בקר, כל החלקה התכסה תחילה בסרפדים (ולכן לא נדגם בשנת 2016) ואח"כ התחיל להתאושש לאט לאט. נמשך לעקוב אחרי ההתאוששות של חלקה זאת. נתון נוסף מעניין בטבלה זאת היא שבשני טיפולי הרעייה בכבארה היציבות דומה (53%-ו-55%). לבסוף אציין 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 הדגימה 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	27 ²	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 ³	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 ²	24	73	53.28																
2014:2016					27	12	63	61.76												
2016:2018	14	36	86	63.24	9	13	63	74.12												
ממוצע				55.08				67.94												

¹ רק חלקת הרעייה באתר הגריגה נדגמה בשנת 2009; ² אתר הכבארה לא נדגם בשנת 2014; ³ חלקת הרעייה בחורשת הברושם לא נדגמה בשנת 2016 עקב התפשטות סרפדים

דיון, מסקנות והמלצות:

ביחס לניתוח שבוצע על-ידי ב-2016 על השנים 2003-2014 (גולודיאץ 2016), בניתוח הנוכחי (2003-2018) עודכנה רשימת המינים המלאה של מיני צומח הגדלים בפארק ל-653 מינים. יותר מזה, רשימת המינים בחלקות ה- LTER גדל מ-440 מינים ל-493 מינים. הניתוח הנוכחי מהווה עדכון לניתוח של גולודיאץ (2016) על נתונים מהתקופה 2003 – 2014, הכולל חזרה על חלק מהניתוחים שבוצעו קודם, ושכלול חלק מהניתוחים בדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016) ותוספת של ניתוחים חדשים כדי להעמיק את ההבנה של השפעת ממשק הרעיה 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 בקנה מידה שונות (ריבוע הדגימה, החתך) מאפייני מינים שכיחים יותר ופחות, תגובה של קבוצות תפקודיות שהוגדרו מראש ויציבות בין שנים בשפעת הרעיה.

מצאתי 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 שנת לשנת בכל החלקות, מה שמצביע על שינוי בתנאי האקלים ולא השפעה של פעולות ממשק. ייתכ 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 דגימה בפארק, ופחות מרבע מהם (92) חזרו והופיעו בכל הסקרים. כמו כן, כפי שנמצא בניתוחים הקודמים, 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 הרעיה. השוואת העושר והמגוון של המינים בין ממשקי הרעיה השונים הראה כי ישנה השפעה של הרעיה באזור החיץ (כלומר, רעיה משולבת עם כריתה) ובחורשת האורנים, אך אין השפעה בגריגה או בחורשת הברושים. התבוננות באורדינציות מראה כי קיימים הבדלים בהרכב הצומח בין חלקות הרעיה לחלקות הביקורת, ביעקר באזור החיץ ובחורשת האורנים, אך ההבדל בהרכב המינים בין החורשות הנטועות (אורנים, ברושים) לבתי גידול הטבעיים (אזור חיץ, גריגה וכבארה) משמעותיים הרבה יותר. מעבר לכך, האורדינציה מצביעה על הטרוגניות רבה בהרכב הצומח בזמן ובמרחב בתוך כל אתר הן בחלקות הביקורת והן בחלקות הרעיה.

ב-2012 התרחשה תמותת עצים נרחבת בחורשת האורנים. בשנת 2013 עצים אלה סולקו ועתה ניתן לבחון את ההשפעה של תמותת עצים וסילוקם על הצומח. ניתן לראות כי תמותת העצים וסילוקם מהשטח אפשר כניסה של מינים רבים שלא נמצאו באתר זה קודם לכן, הן בחלקת הרעיה והן בחלקת הביקורת, והביא 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 לכניסת 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 הרעיה באתר זה ופחות דומים לחלקת הביקורת. מאז 2014 ועד 2018 היה אפשר לצפות שהרכב הצומח בחלקת הקורסת תשתנה בעקבות הפסקת הרעיה ותתקרב להרכב המינים בחלקת הביקורת, אך הניתוח מראה כי הרכב הצומח החלקת הקורסת נשאר דומה להרכב המינים בחלקת הרעיה מדוללת העצים. ממצא זה די מפתיע מכיוון שקיים הבדל ניכר בהרכב המינים בין חלקת הרעיה לחלקת הביקורת והיה אפשר לחשוב שהרכב הצומח העשבוני אכן ישתנה בעקבות הפסקת הרעיה. חשוב להמשיך לעקוב אחר שלושת החלקות באתר זה.

בשנת 2016, כל עצי הברוש בחורשת הברושים מתו וסולקו מהשטח. בחלקת הביקורת, סילוק 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. מעניין לציין שפעולת סילוק העצים (כריתה וגרירת העצים) לא השפיעה

על הצומח בחלקה זו. לעומת זאת, בחלקת הרעייה, ההפרעה הכפולה של סילוק העצים ביחד עם רעיית בקר הובילה להשתלטות של סרפד בחלקת הרעייה בשנת 2016 והיא לא נדגמה באותה השנה (הדר ל., תקשורת אישית). אם כן, הנתונים מהחלקה הזו בשנת 2018 משקפים את תחילת תהליך ההתאוששות של הצומח ולכן אנו אורים עושר ומגוון מינים נמוכים ושינוי ניכר בהרכב המינים העשבוניים, במיוחד העדרם של מינים רבים של קטניות ודו-פסיגיים נוספים.

חלוקה של המינים לקבוצות התפקודיות אכן מהווה כלי שימושי להבנת השפעות פעולות ממשק על הצומח, אך מכיוון שקיימת חפיפה רבה בין ההעדפות של קבוצות תפקודיות שונות לטיפול הרעייה ותנאי המחיה באתרים השונים, קשה לאפיין כל חלקה לפי הרכב הקבוצות התפקודיות שלה. מתוך כך, נראה שלחלק מהקבוצות התפקודיות יש זיקה חזקה יותר לאתר ולחלקן יש זיקה חזקה יותר לטיפול. תוצאות אלה לא עולות בקנה אחד עם תוצאות האורדינציה של הרכב המינים, ולכן ניתן להסיק כי יש הרכב מינים אופייני לכל אתר, אך אין אפשרות ללמוד עליו דרך הקבוצות התפקודיות. ניסיתי לשפר אפיון זה 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 מסקנותי הראשונות נותרות מהדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016) והניתוח של הדר וחובריה (2013):

1. המערכת האקולוגית ברמת הנדיב מפגינה עמידות גבוהה לשינויים. ראייה לכך ניתן לראות ביציבות של מספר המינים משנת 2008 ואילך, במיוחד בחלקות הביקורת, והיציבות בהרכב המינים לאורך זמן בכל טיפול.
2. יחד עם זאת, המגוון של טיפוסים אתרים ושל ממשקי רעייה בסקאלה הגדולה שומרת על הטרוגניות בהרכב המינים בקנה מידה הגדול מחד גיסא, ופעולת הרעייה שומרת על הטרוגניות מרחבית בקנה מידה הקטן מאידך גיסא.
3. לאור הניתוח הנוכחי אוסיף עוד מסקנה כללית: השוואה בין מגוון המינים ברמת החלקה למגוון המינים ברמת החתר מראה כי יש מגמת ירידה במגוון המינים לאורך זמן ללא קשר לפעולות ממשק. ייתכן כי מגמה זו קשורה לרצף שנות הבצורת ברמת הנדיב בעשור האחרון. מעניין יהיה להמשיך לעקוב אחר שינויים במגוון המינים בעתיד.
4. פעולות ממשק נוספות, כגון דילול וסילוק עצים אכן משפיעות על הרכב הצומח, אך לא תמיד בצורה הצפויה ורצוי להמשיך לעקוב אחרי ההשפעות של פעולות אלה.

להלן מספר רעיונות לניתוחים עתידיים:

1. בדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016) הצעתי 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 (adipart, multipart) vegan. אמנם לא ביצעתי ניתוח כזה בדו"ח הנוכחי אך כוונתי לבצעו בדו"ח הבא, במיוחד לאור ההבדל הניכר במגמת מגוון המינים ברמת החלקה וברמת החתר.
2. ביצוע 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 simper-i anosim, פונקציות שקיימות בחבילת vegan. שתיהן משתמשות במטריצת דמיון (או אי-דמיון). Anosim מצבע ניתוח שונות א-פרמטרית על נתונים אקולוגיים, simper-i מצבע אפיון של הרכב המינים בבתי גידול שונים עפ"י דמיון במינים המאפיינים. אפשרות

אחרית 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. בדו"ח הקודם (גולודיאץ 2016) ציינתי שכדי 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 לטיפול(ים). ניתוח מסוג זה חייב להתבצע בנפרד עבור כל בית גידול, כאשר הביקורת הינו חלקות הביקורת, והטיפול הינו הרעיה, 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 ארוכי-טווח, ככל שמתווספות עוד ועד שנים לניתוח. מכיוון שבשלוש בתי גידול – אוזר 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 לדעתי כדאי לחכות עם הניתוחים הללו עד שייצטברו יותר נתונים, במיוחד בחורשת הברושים, שם קיימת רק שנה-שנתיים של נתונים מאז שסולקו העצים.

4. בניית השונות של הקבוצות התפקודיות השתמשתי בסכומי ההופעות לאורך החתכים, אך ייתכן ששימוש בערכים היחסיים ישקף יותר נכון את הרכב הקבוצות התפקודיות. ניתוח מסוג זה מצריך בניית מודל אחד ב-R שלא מוכר לי כרגע ולכן לא בוצע בדו"ח הנוכחי. רעיון זה ייושם בדו"ח הבא.

רשימת ספרות

- גולודיאץ ק. 2016. ניתוח הצומח העשבוני בחלקות למחקר אקולוגי ארוך-טווח (LTER). סיכום תוצאות 2003 – 2014. דו"ח פנימי, רמת הנסיד.
- 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.
- 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>

- 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>.