

נספח טכני

דו"ח מצב הטבע

ישראל 2023 | המגוון הביולוגי

נספח טכני – דו"ח מצב הטבע 2023

תוכן עניינים

3	1. ניטור צומח מעוצה בדגימה קרקעית
10	2. ניטור צומח בחישה מרחוק
18	3. ניטור פרוקי רגליים
23	4. ניטור זוחלים
27	5. ניטור עופות
34	6. ניטור יונקים
43	7. ניטור פרפרים
52	8. מיפוי – מערכת מידע גיאוגרפית

1. ניטור צומח מעוצה בדגימה קרקעית

1.1. עיבוד וסינון לפני ניתוח

כל שלבי העיבוד והסינון לפני הניתוח בוצעו בסביבת R. לכל יחידת ניטור נכתב קוד (script) ב-R המותאם עבורה, ובו בוצעו כל השלבים להלן:

החורש הים תיכוני - Maquis botanical analysis.R

היער המחטני הנטוע - Analyzing the planted forest.R

ספר המדבר - Analyzing botanical survey 2018 data from the semi desert.R

הר הנגב - Analyzing Negev Highlands.R

הדרום הצחיח - Arid south analysis script.R

1. **סינון הנתונים:** בחורש הים תיכוני נתוני שנת הפיילוט (2013) הוצאו מהניתוח. ביחידות החורש הים תיכוני והיער המחטני הנטוע, סוננו החוצה גם רשומות שלא תועד המרחק מתחילת החתך. בספר המדבר, נתוני מחזור הניטור השלישי (2018) הוצאו מהניתוח משום שפרוטוקול הניטור היה שונה אז מאשר ביתר מחזורי הניטור (חלקות הדיגום הוגדלו באופן משמעותי במחזור זה לעומת האחרים ונסרקו בסיוע רחפנים לעומת דיגום רגלי בלבד ביתר מחזורי הניטור).

2. טיוב הנתונים:

1. במידת הצורך, הואחדו שמות האתרים והחלקות היכן שהיו הבדלי איות (לדוגמה, גבעת יערים איות לעתים Givat Yeaarim ולעתים Givat Yearim).
2. כמו כן, היות שהקואורדינטות המדויקות שתועדו בכל מחזור דיגום היו שונות מעט (פחות מאלפית המעלה, דהיינו, פחות מ-100 מ'), נלקח הערך הממוצע של קו הרוחב וקו האורך.
3. היכן שתועדו רק השמות המדעיים של מיני הצומח, הושלמו השמות העבריים התואמים. שגיאות איות בשמות המינים תוקנו.
4. ביחידות החורש הים תיכוני והיער המחטני הנטוע (שנדגמו בחתכים מצפון לדרום), שמות כיווני החתכים הואחדו (לדוגמה, "east-west" ו-"west-east").
3. טקסונומיה: שמות מדעיים ועבריים וכן הגדרת צורת החיים (חד שנתיים, גיאופיטים, המיקרופיטופיטים, בני שיח, שיחים או עצים) עודכנו על פי המגדיר המקוון של "צמחיית ישראל וסביבתה" (דנין וספיר, 2023), שהוער ותוקן ע"י צוות בוטנאי מכון דש"א (שמש, תקשורת אישית).
4. **"עושר המינים"** הוגדר כמספר המינים שהוגדרו בחלקה. צמחים שלא הוגדרו לרמת המין לא נכללו בעושר המינים, אלא אם לא היה חשש לכפילות מינים בחלקה. לדוגמה, הסוג אשל (*Tamarix*) לא הוגדר לרמת המין בהר הנגב, ולכן פרטים מסוג זה נכללו בניתוח עושר המינים כמין אחד.

5. **"שפע"** הצומח המעוצה הוגדר כאחוז הכיסוי של כל מין מכלל שטח החלקה, ולא כמספר הפרטים כמו עבור בעלי החיים. אחוז הכיסוי חושב בהתאם לפרוטוקול הניטור שיושם ביחידה. ביחידות החורש הים תיכוני והיער המחטני הנטוע, נפרשו שני חתכים (צפון-דרום ומזרח-מערב) בני 16 מ' כל אחד. לאורך כל חתך, הוגדרו כל מיני הצומח המעוצה מדי חצי מטר (כולל נקודה בתחילת החתך ונקודה בסופו): 33 נקודות בכל חתך ו-66 נקודות בסך הכל בדיגום בחלקה. על כן, אחוז הכיסוי של מין ביחידות אלה הוגדר כמספר הנקודות בהן הוא דווח חלקי 66 (מספר הנקודות הכולל בדיגום). לדוגמה, המין אלת המסטיק (*Pistacia lentiscus*) דווח מ-17 נקודות בחלקה בית אורן רחוק 7 בשנת 2013 (מחזור ניטור T0), ולכן אחוז הכיסוי שלו בחלקה זו הוא 17 חלקי 66 = 25.76%. ביחידות הדרומיות (ספר המדבר, הר הנגב והדרום הצחיח), יושם פרוטוקול ניטור שונה: הסוקרים תיעדו שני קטרים (צפון-דרום ומזרח מערב) עבור כל צמח מעוצה בחלקה (שגודלה השתנה בין יחידות הניטור השונות). משני קטרים אלה חושב שטח הצמח על פי נוסחת שטח האליפסה:

$$S = \pi \cdot a \cdot b$$

כאשר a הוא הרדיוס הארוך, b הוא הרדיוס הקצר ו- S הוא שטח האליפסה. או במילים: פאי כפול מכפלת הרדיוסים. היות שאורך הקוטר הוא כפליים מאורך הרדיוס, נוסחה זו שקולה לנוסחה הבאה:

$$S = \frac{\pi \cdot d1 \cdot d2}{4}$$

כאשר $d1$ הוא קוטר הצמח לאורך הציר צפון-דרום ו- $d2$ הוא קוטר הצמח לאורך הציר מזרח-מערב. או במילים, פאי כפול מכפלת הקטרים חלקי ארבע. אחוז הכיסוי של כל מין חושב בתור סכום השטחים של כל הפרטים מאותו מין חלקי שטח החלקה. לדוגמה, בהר הנגב גודל כל חלקה הוא 8 מ' על 8 מ', ולכן שטחה הוא 64 מ"ר. בחלקה ביסל"ח רחוק מדרון 8 בשנת 2013 תועדו שלושה צמחים של יפרוק המדבר: קטרי הראשון הם 30 ס"מ על 30 ס"מ, קטרי השני הם 40 ס"מ על 40 ס"מ, וקטרי השלישי הם 60 ס"מ על 60 ס"מ. לפי נוסחת שטח האליפסה יוצא ששטחי יפרוקי המדבר בחלקה הם 0.071, 0.126 ו-0.283 מ"ר בהתאמה, ובסך הכל 0.48 מ"ר. היות ששטח החלקה כאמור הוא 64 מ"ר, אחוז הכיסוי של יפרוק המדבר בחלקה זו הוא 0.75%.

6. **"השפע הכולל"** הוגדר כסך השפע מכל המינים שנמצאו בדגימה. היות שעבור הצומח המעוצה השפע הוגדר בתור אחוז כיסוי ולא בתור מספר הפרטים, השפע הכולל הוגדר אף הוא באחוזים. עם זאת, בחלק מהמקרים הוגדר שפע כולל בתור אחוז כיסוי גבוה מ-100%, משום שהצמחים חפו זה על זה - מצב שכיח בחלקות החורש הים תיכוני למשל, בהן בנקודות רבות תועדו מספר מיני צמחים.

7. **"השפע הממוצע למין"** הוגדר בתור הממוצע ההנדסי של שפע המינים (כפי שהוגדרו עבור עושר המינים - ראו לעיל) שתועדו בדגימה. מדד זה חושב בשני שלבים: ראשית, חושב סך השפע של כל מין בחלקה ע"י סכימת אחוזי הכיסוי של כל הפרטים השייכים לאותו מין; שנית, הממוצע ההנדסי של השפע של המינים חושב לפי הנוסחה הבאה:

$$GMA = e^{\frac{\sum(\ln(sp.abnd))}{n}}$$

כאשר GMA הוא השפע הממוצע ההנדסי למין (ר"ת של Geometric mean abundance), בעוד e הוא בסיס הלוגריתמים הטבעיים, sp.abnd הוא השפע של כל מין ו-n הוא מספר המינים בדגימה. הפונקציה חל היא לוגריתם טבעי. היות שהשפע של צומח מעוצה הוגדר כאחוז כיסוי (ראו לעיל), גם השפע הממוצע למין מבוטא כאחוז כיסוי. בעוד שנוסחה זו אינה מוגדרת כאשר לא נמצאו צמחים מעוצים כלל בדגימה (דהיינו, כאשר n = 0 ואז נדרש להציב אפס במכנה השורש בנוסחה לעיל), מצב זה לא התרחש בדגימות הצומח המעוצה. כאשר מצב זה התרחש בטקסונים אחרים (דוגמת הזוחלים), דגימות אלה הוצאו מניתוח מדד השפע הממוצע למין.

לדוגמה, ביחידת הדרום הצחיח בחלקה עין ירב קרוב 8 נמצאו בשנת 2016 (מחזור ניטור T0) כ-24 צמחים מעוצים: 16 צמחים שלא זוהו כלל, 5 יפרוקי מדבר ושלושה חמדי השיח. הצמחים הבלתי מזוהים הוצאו מהניתוח, ואילו השפע (אחוז הכיסוי) של יפרוקי המדבר היה בסך הכל 1.42% והשפע של חמדי השיח היה בסך הכל 1.97%. לכן, השפע הממוצע למין לדגימה זו היה:

$$GMA = e^{\frac{\sum(\ln(sp.abnd))}{n}} = e^{\frac{\ln(1.42\%) + \ln(1.97\%)}{2}} = e^{\frac{-4.25 - 3.93}{2}} = e^{\frac{-8.18}{2}} = e^{-4.09} = 1.67\%$$

דהיינו, השפע הממוצע למין (המבוטא כזכור כאחוז כיסוי) לדגימה זו היה 1.67%.

שלושת מדדי החברה שנבחרו עבור דו"ח מצב הטבע מייצגים תכונות שונות של המגוון הביולוגי בדגימה. בעוד שעושר המינים מתייחס אך ורק למספר המינים ואינו משקלל את שפעתם כלל, השפע הכולל מתייחס רק לשפע ואינו מתייחס למספר המינים; השפע הממוצע למין הוא מדד שמשקלל הן את מספר המינים ואת השפע שלהם, והוא עולה או יורד הן בתגובה לשינוי בשפע של כל אחד מהמינים והן בתגובה לשינוי במספר המינים. בניגוד לממוצע החשובני, הממוצע ההנדסי גם נמוך יותר וגם רגיש פחות לערכים קיצוניים, הרחוקים מאוד ממרבית הערכים - כך שהשפע הממוצע למין הוא מדד שאינו רגיש לנוכחות מינים מאוד שכיחים. ניקח את הדוגמה שנתנו קודם, מעין ירב קרוב 8 בשנת 2016: אילו היה נמצא בחלקה מין שלישי, שכיח ביותר, המכסה כ-70% משטח החלקה, השפע הממוצע למין היה עולה מ-1.67% ל-5.8% בלבד. לעומת זאת, אילו השפע הממוצע למין היה מחושב לפי הממוצע החשובני ולא לפי הממוצע ההנדסי, השפע הממוצע למין היה גבוה יותר מפי ארבעה (24.5%) וזאת בשל רגישות הממוצע החשובני לשפע הגבוה של המין השכיח. השפע הממוצע למין הוא מדד מקובל למגוון ביולוגי, למשל עבור Living Planet Index (Puurtinen et al., 2022) ונמצא כי הוא משקף נאמנה את כיוון ועוצמת המגמה שהוגדרו בתרחישי סימולציה של ירידה במגוון הביולוגי (Santini et al., 2017).

עם זאת, השפע הממוצע למין הוא מדד קשה יותר להבנה לעומת עושר המינים או השפע הכולל - כאשר עושר המינים יורד, פירוש הדבר שבדגימות מאוחרות יותר נמצאו פחות מינים לעומת דגימות

מוקדמות יותר, וכאשר השפע הכולל גבוה יותר קרוב לחקלאות לעומת הרחק ממנה, פירוש הדבר שהצומח המעוצה כיסה שטח גדול יותר קרוב לחקלאות לעומת הרחק ממנה; אך כיצד עלינו להבין מגמות או הבדלים בשפע הממוצע למין? הדרך האינטואיטיבית ביותר להבין את המדד הזה היא לחשוב על הממוצע של קצב השינוי בשפע (במכפלות; למשל עליה או ירידה פי שלושה בשפע) של המינים השונים, ולא על השינוי במספרים מוחלטים. לדוגמה, נניח שבחלקת הניטור שלנו אנו עוקבים אחר השפע (אחוז הכיסוי) של שני מינים שונים, ושניהם השתנו פי עשרה לאורך תקופת הניטור: המין הראשון עלה פי 10, מ-1% ל-10%, בעוד המין השני ירד פי 10, מ-2% ל-0.2%. במצב כזה, מדד השפע הממוצע למין לא יראה שום שינוי לאורך תקופת הניטור: 1.41% הן בתחילת הניטור והן בסופו. גם עושר המינים לא יראה שום שינוי (היה ונותר שני מינים) בעוד שהשפע הכולל יצביע על עליה גדולה (מ-3% ל-10.2%). לעומת זאת, אם מין המין הראשון היה עולה רק פי 5 (מ-1% ל-5%), מדד השפע הממוצע למין היה יורד מ-1.4% בתחילת הניטור ל-1% בלבד בסופו (שכן קצב העליה של המין האחד נמוך מקצב הירידה של המין השני), על אף שמדד השפע הכולל היה דווקא עולה (מ-3% ל-5.2%).

בדוגמה נוספת, נניח שלאורך תקופת הניטור שני המינים הראשונים התפשטו בחלקה: הראשון עלה מ-1% ל-5%, השני עלה מ-2% ל-4%, וגם נוסף לחלקה מין שלישי, נדיר יותר, שמכסה רק 0.1% משטח החלקה. על פניו, מדובר בשיפור במגוון הביולוגי, ואינטואיטיבית היינו מצפים שמדדי החברה יעלו; ואמנם, במצב כזה, עושר המינים היה עולה משני מינים לשלושה, השפע הכולל היה עולה מ-3% ל-9.1% - אולם השפע הממוצע למין מצביעה על הצורך להתבונן בתמונה כוללת שמציגים מדדי החברה ולא להתמקד באחד מהם. שלושת מדדי החברה שבדו"ח מצב הטבע מספקים נקודות מבט שונות ומשלימות על מצב המגוון הביולוגי. [לפירוט ודוגמאות נוספות (Puurtinen et al. 2022)]

8. המשתנים הסביבתיים של כל חלקה חושבו לפי מיקומה הגיאוגרפי בשכבות ממ"ג שריגיות (ראסטריות) של ממוצע הטמפרטורה הרב שנתי, של ממוצע המשקעים הרב שנתי (Fick & Hijmans, 2017) ושל סוג הקרקע (דן ורז, 1970 עבור ישראל ו-Aridic Soils of the United States and Israel, 2003 עבור רמת הגולן). המשתנים האקלימיים הרציפים תוקנו (standardized) ע"י הפחתת הערך הממוצע של כלל הדיגומים ביחידה (כך שערכים נמוכים מהממוצע יהיו שליליים ולהפך) וחלוקתם בסטיית התקן של כלל הדיגומים ביחידה (כך שהערכים יבוטאו במספר סטיות תקן מהממוצע ולא במעלות צלזיוס או במ"מ גשם בשנה). צעד זה בוצע כחלק מפרוטוקול שימוש במודלים לינאריים כלליים (Santon et al., 2023) ונועד למנוע בעיות התכנסות של מודלים וכן מוודא כי השפעת המשתנים האחרים (כגון מרחק מישוב או מחקלאות, או הבדלים בין ערוצי נחלים למדרונות) נבחנת עבור התנאים האקלימיים הממוצעים ביחידה.

ניתוח מדדי מגוון ביולוגי - עושר המינים, השפע הכולל, ושפע ממוצע למין

1. מדדי המגוון הביולוגי נותחו באמצעות מודלים לינאריים רגילים או מעורבים (Generalized Linear Mixed Models) מהחבילה glmmTMB בסביבת R. בשלב הראשון, נבחרה משפחת ההתפלגות של המודל:

1- עבור ניתוחי עושר המינים, הבחירה היתה בין התפלגות פואסונית לבין התפלגות בינומית שלילית, ובוצעה באמצעות בחינת מקדם הפיזור (dispersion parameter) של המודל בעל התפלגות בינומית שלילית בפרמטריזציה ריבועית (nbinom2). עבור פרמטריזציה זו, ככל שמקדם זה גבוה יותר, כך ההבדל בין הממוצע לשונות נמוך יותר ומצביע על התאמה של מודל פואסוני דווקא.

2- עבור ניתוחי שפע כולל ושפע ממוצע למין, ההתפלגות שנבחרה הייתה התפלגות ביתא, המתאימה עבור ניתוחי אחוז כיסוי צומח (Damgaard and Irvine, 2019).

2. ראשית הותאם המודל המלא, שכולל את מדד המגוון הביולוגי שנבחר (עושר המינים, שפע כולל או שפע ממוצע למין) בתור המשתנה המגיב ואת כל המשתנים הסביבתיים הרלוונטיים ליחידת הניטור כמשתנים מסבירים. עבור כלל היחידות נבחנו ההשפעות של מספר השנים שחלפו מאז תחילת הניטור, ממוצע הטמפרטורה הרב שנתי, ממוצע המשקעים הרב שנתי וסוג הקרקע. ביחידות החורש הים תיכוני והיער המחטני הנטוע נבחנו גם תת היחידה (הגליל, הכרמל או הרי יהודה), בספר המדבר נבחנו גם הקרבה ליישובים, בהר הנגב ובדרום הצחיח נבחנו גם ההבדלים בין ערוצי נחלים לבין מדרונות. בדרום הצחיח נבחנו גם הקרבה לחקלאות תמרים. זהות החלקה נכללה אף היא כמשתנה מסביר אקראי. אינטראקציות נכללו בין המשתנים שייצגו את שאלות הניטור (כגון בין המגמה בזמן לקירבה ליישוב).

המשתנים הסביבתיים שאינם מוקד שאלת הניטור (קרי, השפעות האקלים והקרקע) שוקללו בניתוחים במטרה להימנע ממסקנות שגויות בדבר השפעות המשתנים המנוטרים (קרבה ליישובים או לחקלאות, הבדלים בין תתי יחידות ומגמות עתיות). הדבר מהותי במיוחד כאשר מסד הנתונים אינו מאוזן; לדוגמה אם עושר המינים גבוה יותר באזורים גשומים יחסית ביחידת הניטור, אך בדיגומים בשנים מאוחרות לא נדגמו חלקות באזורים צחיחים יחסית של יחידת הניטור, הדבר יגרום ליצוג חסר של החלקות הללו במסד הנתונים ועלול לגרום למסקנה שגויה בדבר עליה בעושר המינים.

3. לאחר התאמת המודל המלא כאמור, נבחנו השפעת השמטת אחד המשתנים המסבירים על קריטריון המידע של Akaike (AIC). במידה והשמטה זו הפחיתה את מדד זה או העלתה אותו בלא יותר מאשר 2 נקודות בהשוואה למודל בעל מדד AIC הנמוך ביותר שהושג עד כה, השמטה זו התקבלה והושמט משתנה מסביר נוסף וחוזר חלילה, עד קבלת המודל הסופי, שכל השמטת משתנה מסביר נוסף ממנו רק תעלה את ערך AIC ב-2 נקודות או יותר.

4. טיב התאמת המודל הסופי לתצפיות נבחנה באמצעות מבחנים וגרפים דיאגנוסטיים הזמינים בחבילה DHARMA בסביבת R.
5. המובהקות הסטטיסטית (ערך p) של המקדמים של המשתנים המסבירים במודל הסופי נבחנה באמצעות מבחן Wald, כפי שמחושב באמצעות הפונקציה summary של המודל.
6. מבחני פוסט-הוק לטובת השוואה בין רמות של משתנים איכותיים (קטגוריים), השוואת ממוצעים שוליים (marginal means) עבור משתנים המצויים באינטראקציה ובדיקת מובהקות עבור מגמות עתיות במודלים בהם משתנה הזמן היה באינטראקציה עם משתנים מרחביים בוצעו באמצעות חבילת emmeans בסביבת R.

ניתוח הרכב החברה

1. הרכב החברה (השפע של כל מין) נותח באופן סימולטני עבור כל המינים באמצעות ריבוי מודלים לינאריים בעלי משתנים לטנטיים (Generalized Linear Latent Variable Model - GLLVM) עם התפלגות ביתא באמצעות החבילה glivm בסביבת R. בשלב הראשון, נבחר מספר המשתנים הלטנטיים ע"י השוואת AIC של מודלים בעלי 0 עד 5 משתנים לטנטיים.
2. בשלב הבא, הותאם המודל המלא הכולל את כל המשתנים המסבירים (והאינטראקציות) הרלוונטיים, כמתואר לעיל עבור מדדי המגוון הביולוגי.
3. לאחר מכן, נבחנה השפעת השמטת אחד המשתנים המסבירים בזה אחר זה, עד בחירת המודל הסופי – באותו אופן כמו עבור המודלים של מדדי המגוון הביולוגי.
4. לאחר בחירת המודל הסופי, הוא הורץ מחדש עם שגיאות תקן, על מנת לחשב מובהקות סטטיסטית עבור כל אחד מהמינים. המובהקות הסטטיסטית חושבה באופן המומלץ ע"י יוצרי החבילה: קרי, ע"י חישוב הרווח בר סמך של המקדם באמצעות הוספת והחסרת מכפלת סטיית התקן של המקדם ב-1.96, ובדיקה האם הוא חופף לאפס (ואז המקדם אינו שונה במובהק מאפס) או לא.
5. באופן דומה, הותאמו מודלי GLLVMs עבור כל אחת מצורות החיים במקום עבור כל אחת מהמינים, ומתוכם נבחר המודל הסופי באותה שיטה.

1.3 מקורות

דן, י, רז צ. (1970). [מפת חברות הקרקע של ישראל](#). האגף לשימור קרקע, משרד החקלאות, והאגף לקרקע ומים, מכון וולקני לחקר החקלאות.

דנין א, פרגמן-ספיר א. (2016). [צמחיית ישראל וסביבתה](#).

Akaike H (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6): 716–723. <https://doi:10.1109/TAC.1974.1100705>

- Damgaard CF, Irvine KM (2019). Using the beta distribution to analyse plant cover data. *J Ecol.*107:2747–2759. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13200>
- Fick SE, RJ Hijmans (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302–4315.
- Hartig F (2022). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.6, <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>
- Lenth R (2023). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.6, <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Brooks ME, Kristensen K, Van Benthem KJ, Magnusson A, Berg CW., Nielsen A, ... & Bolker BM (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R journal*, 9(2): 378–400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Niku J, Brooks W, Herliansyah R, Hui FKC, Korhonen P, Taskinen S, van der Veen B, & Warton DI (2023). gllvm: Generalized Linear Latent Variable Models.R package version 1.4.3.
- Niku J, Hui FKC, Taskinen S, Warton DI (2019). gllvm - Fast analysis of multivariate abundance data with generalized linear latent variable models in R. *Methods in Ecology and Evolution*, 10: 2173-2182.
- Puurtinen M, Elo M, Kotiaho JS (2022). The Living Planet Index does not measure abundance. *Nature* 601, E14–E15. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03708-8>
- Santini L, Belmaker J, Costello MJ, Pereira HM, Rossberg AG, Schipper AM, Ceaușu S, Dornelas M, Hilbers JP, Hortal J, Huijbregts MAJ, Navarro LM, Schiffrs KH, Visconti P, & Rondinini C (2017). Assessing the suitability of diversity metrics to detect biodiversity change, *Biological Conservation* 213, Part B: 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.024>
- Santon M, Korner-Nievergelt F, Michiels NK & Anthes N (2023). A versatile workflow for linear modelling in R. *Front. Ecology and Evolution* 11:1065273. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1065273>
- Soil Map and Satellite Image of Israel, Aridic Soils of the United States and Israel. Website. Last updated 13.8.2003. <https://cales.arizona.edu/OALS/soils/israel/soilmap.html>

2. ניטור צומח בחישה מרחוק

2.1. כללי

- בדו"ח זה מוצגים שני תוצרים של מיפוי צומח באמצעות חישה מרחוק, המבוססים על נתוני לוויין ברזולוציה שנעה בין 10 מטר (תצורות צומח) ל-30 מ' (מגמות בכיסוי צומח) והם מהווים המשך ושיפור לתוצרים שהוצגו בדו"ח 2022 כמו גם בדו"חות קודמים של המארג. הניטור כולו מבוסס על מדד הצומח NDVI.
- גודל תא השטח המינימלי למיפוי (פיקסל אחד) הוא 30X30 מטר.

2.2. מיפוי מגמות בכיסוי הצומח

כדי לבחון את השינויים בכיסוי הצומח הקייצי לאורך השנים 1984–2022 נעשה שימוש במדד NDVI (Rouse et al., 1974) (Normalized Difference Vegetation Index). מדד זה הוא ביטוי לפעילות הפוטוסינתטית של הצומח (Gessesse & Melesse, 2019), כאשר עלייה ב-NDVI מסמנת עלייה בירוקיות (greenness) של הצמחייה, תוצאה של עלייה בצפיפות הצומח הירוק (עלייה במספר הענפים והעלים ו/או עלייה בכמות הפריטים בתא השטח הנבדק), בבריאות של הצמחייה (מצב פיזיולוגי טוב יותר) או בשניהם יחד (Dutta Gupta et al., 2021). ירידה ב-NDVI מצביעה על ירידה בצפיפות הצומח או על הרעה במצבו. כמו כן, נמצא כי קיים קשר למדדים פיזיקליים כגון ביומסה (Wu et al., 2016), (Leaf Area Index (LAI) (Goswami et al., 2015) ואחרים.

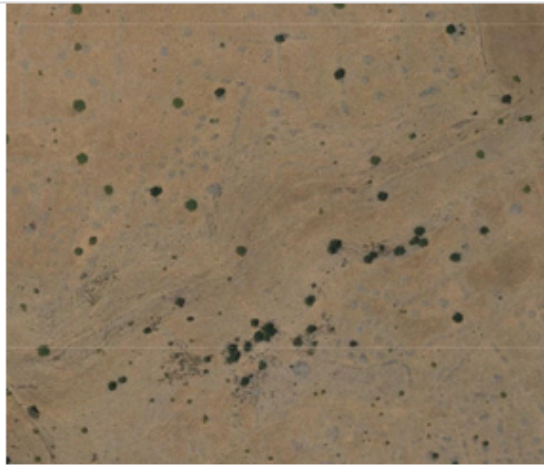
משמעות סולם הערכים של מדד ה-NDVI:

מדד זה נע בין (-1)–1, כאשר ערכים שליליים מבטאים מים או קרקע רטובה. מבדיקות שערכנו על אזורים שונים בישראל נמצא כי ערכים נמוכים מ-0.15 מבטאים לרוב אזור חשוף מצמחייה או עם צמחייה יבשה ודלילה ביותר, משטחים של צומח יבש יקבלו ערכים גבוהים במעט מ-0.15 וככל שהצמחייה ירוקה וצפופה יותר כך הערך עולה. במצבים מסוימים המדד אף עשוי להגיע לרוויה (ערך של 1) אולם זהו מצב נדיר שלרוב לא מתרחש בישראל. טבלה 1 מציגה את משמעותם של ערכי NDVI בעונת הקיץ בישראל (בחורף ובאביב הצמחייה העשבונית הירוקה תגרום לעלייה משמעותית בערכים). איור 1 מציג כיצד ערכים אלה באים לידי ביטוי כאשר מסתכלים על השטח מצילום אוויר ברזולוציה גבוהה.

טבלה 1: משמעותם של ערכי NDVI בקיץ בישראל מתוך בחינה של נתוני לוויני Sentinel-2 ו Landsat-8 בישראל והשוואה עם תצלומי אוויר ברזולוציה גבוהה

	ערך NDVI
מים	(-1)–(0.1-)
קרקע רטובה	(0.1-)-0.10

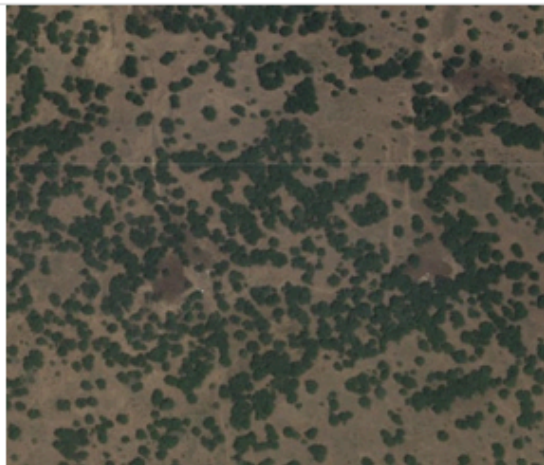
קרקע חשופה	0.10–0.15
צומח עשבוני יבש	0.15–0.18
עשבוני יבש עם מעט עצים	0.18–0.25
יער פארק	0.25–0.40
חורש	0.40–0.65
חורש צפוף	0.65–1



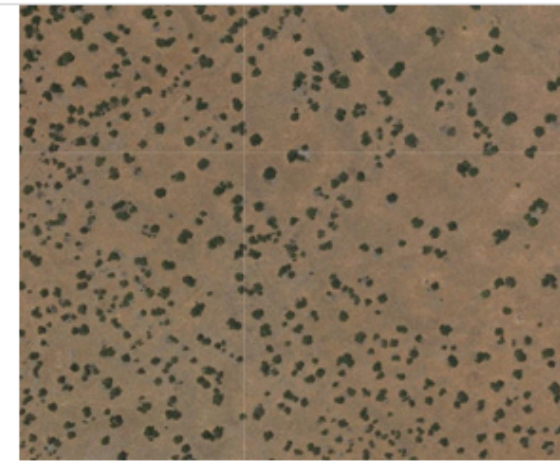
0.19



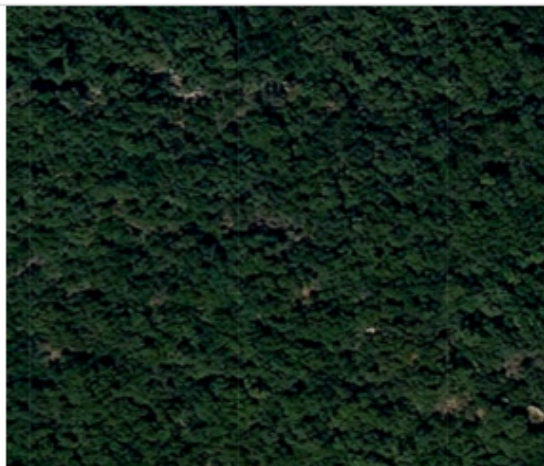
0.18



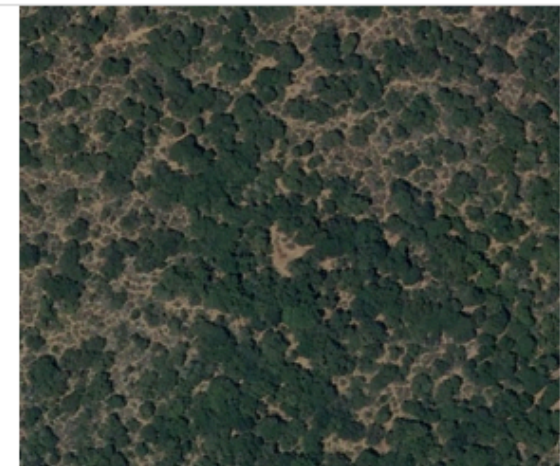
0.38



0.24



0.81



0.60

איור 1: ערכי NDVI ממוצעים בצפיפויות צומח שונות במהלך עונת הקיץ. הערך המובא בכל תמונה הוא הערך הממוצע על פני התמונה כולה. ניתן לדמות זאת לערך של פיקסל בודד אשר מייצג את הממוצע של מצב הצומח בתוך הפיקסל.

כדי למקד את הנתונים כך שניתן יהיה להבחין בשינויים במאפייני הצומח המעוצה, חושב ערך ה-NDVI לחודשים אוגוסט–ספטמבר, מאחר שבחודשים האלה גם הצמחייה העשבונית בת-החלוף וגם הקרקע יבשות. חישוב ה-NDVI בתקופה זו לאורך שנים מאפשר להתייחס לשינויים ארוכי-הטווח בצומח המעוצה, ללא השפעת המרכיב העונתי של הצומח העשבוני – שמבטא יותר את מאפייני המשקעים והטמפרטורות של אותה שנה, ופחות מגמות ארוכות-טווח.

לצד היתרונות שיש לשימוש בחישה מרחוק כדי לבחון את מגמות כיסוי הצומח בזמן ובמרחב והשימוש ב-NDVI, יש לה מספר מגבלות שיש לתת עליהן את הדעת:

המשמעות של עלייה או ירידה בערכי NDVI מתארת על פי רוב שינוי בצפיפות הצומח או בריאותו, אך לא ניתן להסיק מכך באופן ישיר על שינויים במבנה חברת הצומח והרכבה. למשל – עלייה בערכים בשטח יער שנשרף יכולה לנבוע מהתחדשות ומכיסוי השטח שנשרף בשיחים ובבני-שיח, ולא בהכרח מהשתקמות עצי היער. באופן דומה לא ניתן לזהות באמצעות NDVI תהליכים שיש בהם החלפה של מינים, למשל כשמין פולש, כמו שיטה כחלחלה (*Acacia saligna*), משתלט על שטחים שלפני כן היו מכוסים בצומח מקומי.

נתוני הלויין מתקבלים מחופת הצומח בלבד, ולכן המדד אינו יעיל בתיאור שינויים במורפולוגיה של הצומח הטבעי. לדוגמה, רעיית בקר גורמת לירידה בביומסה בחלקים התחתונים של העלווה, אך עשויה להיות מלווה בציפוף צמרות שבא לידי ביטוי בעלייה של ערכי NDVI.

ישנם מיני צמחים מעוצים שבחודשי הקיץ נמצאים בשלכת או עם עלוות קיץ שכמעט אינה מבצעת פוטוסינתזה, כמו קידה שעירה (*Calicotome villosa*) וסירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*), או מינים עשבוניים בני-קיימא שהם ירוקים בקיץ, כמו קנה מצוי (*Phragmites australis*) וטינית החולות (*Heterotheca subaxillaris*). לכן, התמונה שמתקבלת מהשימוש ב-NDVI בחודשי הקיץ היא של הצמחייה הירוקה בחודשים אלה, שכוללת רכיב משמעותי של הצמחייה המעוצה אך לא את כולה מחד גיסא, ומינים עשבוניים בני-קיימא מאידך גיסא.

בהמשך למפת מגמת השינוי ב-NDVI שפורסמה בדו"ח מצב הטבע 2022 (בן משה וליבנה, 2022), גם בדו"ח הנוכחי נעשה שימוש בנתוני הלויינים Landsat 5 ו-Landsat 8 ברזולוציה של 30 מטר לפיקסל. לויינים אלה פעלו ברצפי שנים שונים, ולאחר תהליך כיול ניתן היה לאחד את הנתונים לסט אחיד שמציג תקופת זמן ארוכה יותר וברזולוציה גבוהה יותר מזו שהוצגה בדו"ח של 2018. עם זאת, חשוב להדגיש כי סדרת מדידות מהחלל לאורך כמעט 40 שנה מלווה ברמה משתנה של "רעש" (Zhang & Roy, 2016) שלא תמיד ניתן לכימות או לתיקון (שנים מסוימת לא נכללו בנתונים המוצגים, בין השאר בגלל רעש מוגבר). על כן, ראוי להתמקד במגמות השינוי ארוכות הטווח ולא בשינויים השנתיים אשר עשויים לנבוע גם מרעש כתוצאה מזוויות צילום משתנות, אירוסולים, בעיות במכשיר המדידה או אי דיוקים בתהליך

הכילול במקור. בדו"ח זה אנו מרחיבים במעט את הסדרה העתית בהשוואה לדו"ח מצב הטבע 2022: התווספו אליה השנים 1984, 2021 ו-2022.

כדי לאפיין את מגמות השינוי בכיסוי הצומח המעוצה באזורים שונים בארץ בוצעה חלוקה מרחבית של הנתונים בהתאם ליחידות הניטור של המארג. משטח יחידות הניטור הושמטו שטחים בנויים, חקלאיים, ומיוערים כך שנבחנו רק השטחים הטבעיים בכל יחידה. כמו כן, הנתונים הם ממוצעים מרחביים על פני שטח כל היחידה והשינויים בשטח אינם אחידים ובאזורים שונים המגמה מציגה קצבים שונים. יש להדגיש כי גם ניתוח הנתונים ההיסטורי נעשה על השטחים הטבעיים בשנת 2020, שכן אין בידינו נתונים מספקים על היקף ומיקום השטחים הטבעיים לאורך עשרות השנים האחרונות ובכל מקרה אין משמעות מהבחינה הזו להוציא נתונים על פני שטחים טבעיים שנגרעו. בנוסף, כאשר עורכים השוואה בין הדו"ח הנוכחי לקודם יש לשים לב לשתי נקודות חשובות:

- בדו"ח הנוכחי גרענו מכל יחידה את שטחי עומדי היער של קק"ל אשר נכללו בה, דבר שלא נעשה בעבר.
- ביחידות הדרומיות – הר הנגב והדרום הצחיח, נתוני ה-NDVI מייצגים רק את שטחי הנחלים מסדר חמישי ומעלה (נחלים שהם איחוד של לפחות חמישה יובלים) על מנת להתמקד בצמחייה מעוצה. בתוך הנחלים הוצאנו נתונים רק מפיקסלים בהם ערך ה-NDVI היה שווה או גדול מ-0.1 בלפחות אחת מהשנים שנבחנו. החלטנו על שיטה זו כיוון ששטח הצמחייה ביחידות אלה הוא קטן ולמעשה כאשר בוחנים את כלל היחידה הרוב הגדול של הפיקסלים מייצג קרקע חשופה והשינויים בצומח, במידה וקיימים, נבלעים בתוך ה"רעש" של החיפוש.

ביחידת חולות מישור החוף מוצגים שני מיפויים נוספים מלבד השינוי הממוצע במדד הצומח (NDVI) בכלל היחידה, הממודל לאורך השנים:

1. מיפוי מרחבי השוואתי בין השנים 1985 ו-2022, כאשר כלל השטח הטבעי ביחידה חולק בכל אחת מהשנים לארבע קטגוריות NDVI אשר מייצגות צפיפות צומח שונה: גבוהה, בינונית, נמוכה ושטח חשוף ללא צומח. באופן זה ניתן להתרשם מהשינוי בהיקף השטח שנכלל בכל קטגוריה בכל אחת מהשנים 1985 ו-2022.
2. השוואה ויזואלית בשני אזורים נבחרים ביחידה בין השנים 1968 ו-2022. הנתונים מ-1968 הופקו מלויין [CORONA](#), לויין ריגול אמריקאי שהיה פעיל בתקופה זו ויצר דימות פנכרומטיות (גווני אפור) ברזולוציה גבוהה. הנתונים מ-2022 הם מצילום הרקע של [Google Earth](#) ומוצגים בגווני אפור לצורך נוחות ההשוואה הויזואלית.

2.3 מיפוי תצורות צומח עיקריות

מיפוי תצורות הצומח מתבסס על היחס בין מצב הצמחייה הירוקה בתקופת שיא הצימוח בראשית האביב (אמצע פברואר-אמצע מרץ) לבין תקופת שפל הצימוח בסוף הקיץ (ספטמבר). באמצעות בחינה של נתוני NDVI מלוויין MODIS ניתן לזהות את זמני שיא הצימוח השנתי. זמנים אלו אמנם משתנים במרחב, אך ברוב השנים הבדלים אלה אינם עולים על 20–30 יום ולצורך הפקת המפה ניתן להשתמש בזמן אחיד ממוצע לכל הארץ לאחר שהדבר נבחן על פני שנה מסוימת. המיפוי עצמו נערך על נתוני NDVI של לוויין סנטינל-2 (רזולוציה של 10 מ') שחולקו במפת ספי NDVI לצומח מעוצה כפי שהוגדרה על ידי (Drori et al., 2020). נתוני שיא הצימוח חושבו לממוצע טווח התאריכים 15.2-15.3 בשנים 2021 ו-2022, נתוני שפל הצימוח חושבו לממוצע טווח התאריכים 1-30.9 בשנת 2022. לאחר חישוב היחס בין שתי התקופות נערכה חלוקה גסה לשלוש קטגוריות: (1) ללא צומח כלל, (2) צומח ירוק באביב ויבש בקיץ (עשבוניים עונתיים), (3) צומח ירוק בשתי התקופות (מעוצים או עשבוניים ירוקי עד). עם זאת, המציאות בשטח היא רציפה ולא קטגוריאלית ועל כן אנו מציגים את הנתונים באופן רציף, כאשר על הסקאלה הרציפה ניתן למצוא למשל אזורים בהם יש צומח ירוק בחורף וצומח מעוצה יבש בקיץ שמייצגים משטחים של מעוצים בשלכת קיץ (סירה קוצנית, קידה שעירה) כמו גם אזורים בהם שיא הצימוח הוא דווקא בקיץ – נחלים איתנים ושטחים מוצפים בחורף.

2.4. ניתוח

ניתוח המגמות העתיות בצפיפות הצומח המעוצה נעשה בסביבת R (R Core Team 2023) גרסה R 4.3.0. כל שלבי הניתוח מפורטים בקובץ הקוד (R script):

```
ndvi trends 2023.R
```

הגרפים שורטטו באמצעות החבילות ggplot2 (Wickham 2016) ו-Cairo (Urbanek & Horner, 2022) גרסה 1.6-2.

1. **מוד הנתונים** כלל ממוצעים מרחביים של ערכי NDVI מהתאריכים 15 באוגוסט עד 30 בספטמבר עבור כל יחידת ניטור מהשנים 1984-2022, כמתואר לעיל. ביחידות החורש הים תיכוני והיער המחטני הנטוע, חושבו ממוצעים מרחביים עבור חלקי היחידות שממוצע המשקעים הרב שנתי שלהן מעל או מתחת לסף של 550 מ"מ גשם בשנה (השירות המטאורולוגי הישראלי, 2024), ולא עבור היחידות השלמות. גם ביחידות הדרום הצחיח והר הנגב לא חושבו ממוצעים מרחביים עבור היחידות השלמות, אלא רק עבור תאים (פיקסלים) שמדד ה-NDVI שלהם היה לפחות 0.1 באחת השנים לפחות, ושהשתייכו לנחלים מסדר חמישי ומעלה.
2. ראשית, שורטטו גרפים המתארים כיצד מדד ה-NDVI משתנה עם השנים. גרפים אלו נועדו כעזר חזותי לניתוח הנתונים על מנת להבין באילו יחידות צפויה להיראות מגמה עתית מובהקת סטטיסטית ולאיזה כיוון (עליה או ירידה), אך לא כתחליף לניתוח סטטיסטי (ראו להלן).

3. על מנת לבחון האם קיימת מגמה עתית מובהקת בצפיפות הצומח, הותאם מודל לינארי מוכלל מעורב (Generalized Linear Mixed Model), בו מדד ה-NDVI שנבחן היה המשתנה המגיב באמצעות החבילה (glmmTMB (Brooks et al., 2017) גרסה 1.1.8 בסביבת R. המשתנים המסבירים של כל סדרת עתית היו מספר השנים שחלפו מאז שנת ראשית הניטור הלוויני (1984; להלן המגמה העתית), ועבור החורש הים תיכוני והיער המחטני הנטוע גם האזור האקלימי. סף המובהקות (אלפא) שנבחר היה 5%.
4. בשלב הראשון, נבחרה משפחת ההתפלגות של המודל: התפלגות גואסיאנית (נורמלית) או התפלגות גאמא, על פי מדד (Akaïke Information Criterion (AIC; Akaïke, 1974). עבור החורש הים תיכוני והיער המחטני הנטוע, נבחנו גם מודלים הכוללים את האזור האקלימי ואת האינטראקציה שלו עם המגמה העתית. המודל הסופי נבחר לפי ערך ה-AIC הנמוך ביותר. כאשר הפרש ערכי ה-AIC בין המודלים היה קטן מ-2, הועדף המודל עם מספר המשתנים המסבירים והאינטראקציות הנמוך ביותר.
5. המובהקות הסטטיסטית (ערך p) של המקדמים של המשתנים המסבירים במודל הסופי נבחנה באמצעות מבחן Wald, כפי שמחושב באמצעות הפונקציה summary של המודל.
6. כאשר המודל הסופי כלל מגמה עתית מובהקת, כיוונה (עליה או ירידה) ומידת השינוי (באחוזים ובערכי NDVI מוחלטים) נקבעו ע"י השוואת תחזיות המודל הסופי לשנת התחלת הניטור (1984) ולשנת סיום הניטור (2022).

2.5 מקורות

- השירות המטאורולוגי הישראלי (2024). מאגרי נתונים מטאורולוגיים. ims.gov.il/he/data_gov
- Dutta Gupta V, Areendran G, Raj K, Ghosh S, Dutta S, & Sahana M (2021). Assessing habitat suitability of leopards (*Panthera pardus*) in unprotected scrublands of Bera, Rajasthan, India. In: Forest Resources Resilience and Conflicts. Elsevier, pp. 329–342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00026-5>
- Gesse AA, & Melesse AM (2019). Temporal relationships between time series CHIRPS-rainfall estimation and eMODIS-NDVI satellite images in Amhara Region, Ethiopia. In: Extreme Hydrology and Climate Variability. Elsevier, pp. 81–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00008-7>
- Goswami S, Gamon J, Vargas S, & Tweedie C. (2015). *Relationships of NDVI, Biomass, and Leaf Area Index (LAI) for six key plant species in Barrow, Alaska*. PeerJ PrePrints, No. e913v1.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, & Deering DW (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Special Publication 351: 309.
- Wu Y, Li W, Wang Q, Liu Q, Yang D, Xing M, Pei Y, & Yan S (2016). Landslide susceptibility assessment using frequency ratio, statistical index and certainty factor models for the Gangu County, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2): 84. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2112-0>

- Zhang HK, & Roy DP (2016). Landsat 5 Thematic Mapper reflectance and NDVI 27-year time series inconsistencies due to satellite orbit change. *Remote Sensing of Environment*, 186: 217–233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.022>
- Akaike H (1974). A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6): 716–723 <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Brooks ME, Kristensen K, Van Benthem KJ, Magnusson A, Berg CW, Nielsen A, ... & Bolker BM (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R journal*, 9(2): 378-400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Hartig F (2022). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.6, <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Urbanek S, Horner J (2022). Cairo: R Graphics Device using Cairo Graphics Library for Creating High-Quality Bitmap (PNG, JPEG, TIFF), Vector (PDF, SVG, PostScript) and Display (X11 and Win32) Output. R package version 1.6-0, <https://CRAN.R-project.org/package=Cairo>
- Wickham H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org/>

3. ניטור פרוקי רגליים

3.1. כללי

מסדי הנתונים של יחידת חולות מישור החוף ושל יחידת חולות מערב הנגב נותחו בנפרד. כל שלבי הניתוח, העיבוד וסינון הנתונים בוצעו בסביבת R (R Core Team, 2023) גרסה 4.3.0. כל השלבים תועדו בקבצי R:

Inner sands analysis.R

Coastal plain dunes analysis.R

הגרפים שורטטו באמצעות החבילות ggplot2 (Wickham, 2016), גרסה 3.4.4 ו-Cairo (Urbanek & Horner, 2022) גרסה 1.6-2.

3.2. עיבוד וסינון לפני ניתוח

1. פרוטוקול הניטור קבע כי פרוקי רגליים ינטרו באמצעות מלכודות נפילה (pitfalls) שיונחו במרחקים קבועים זו מזו בחלקות ניטור קבועות בדיונות מיוצבות למחצה ובדיונות נודדות. ביחידת חולות מערב הנגב בלבד הוצבו גם מלכודות נפילה בצמוד לבתי רשת בחלקות חקלאיות, וכן בשתי רמות קרבה לחקלאות – קרוב ורחוק.

2. מסד הנתונים כלל תצפיות בפרוקי רגליים קרקעיים בכל יחידה, וכלל את מחזור הניטור (שנה לועזית), האתר, החלקה, משתני הניטור בהתאם ליחידה (קרוב/רחוק מחקלאות בחולות מערב הנגב בלבד, אופי הדיונה בשתי היחידות החוליות), קואורדינטות מקורבות (נ.צ.), תאריך, טקסון פרוק הרגליים שנצפה, מספר הפרטים, מידע טקסונומי ומספר המלכודות האפקטיביות שנאספו באותו דיגום (מספר זה השתנה בין דיגומים משום שמלכודות לעתים נקברו בדיונות הנודדות ולא נמצאו, וגם אלו שנמצאו לאחר שנקברו לא תפקדו כמלכודות אפקטיביות משום שהיו מלאות בחול). לנתונים אלה הוספו נתונים מטאורולוגיים ואקלימיים מהתחנה המטאורולוגית הקרובה ביותר לאתר הניטור עבור כל אחד מתאריכי הדיגום: טמפרטורה מירבית ומזערית ביום הדיגום, סך המשקעים בעונת הגשם שנוטרה, מספר הימים שחלפו מאז השרב הראשון לעונה (שהוגדר בתור היום הראשון בשנה הלוועזית בו הטמפרטורה עברה את סף ה-30 מעלות צלזיוס; משתנה זה כלל ערכים שליליים עבור דיגומים שהתרחשו לפני השרב הראשון), וממוצע המשקעים הרב שנתי.

3. טקסונומיה: חלק ניכר מהטקסונים לא הוגדר לרמת המין אלא לרמות טקסונומיות גבוהות יותר, כגון משפחה ואף סדרה. עבור טקסונים בלתי מזוהים השייכים לאותה קבוצה טקסונומית גבוהה אך נבדלים בבירור זה מזה נאלצו הסוקרים לעתים להסתפק בקוד טקסון בן שתי אותיות עבור כל אחד מהם, על מנת לבדל אותם זה מזה מבלי להתחייב לשמם המדעי התקף. שגיאות הקלדה בשמות הטקסונים תוקנו.

4. **השפע** של כל טקסון נקבע כמספר הפרטים שנצפו בו בדיגום (סקר בחלקה במחזור ניטור).
5. **עושר המינים** הוגדר כמספר הטקסונים שנצפו בדיגום, תחת המגבלות שתוארו לעיל. הנתונים נותחו ברמת הדיגום.
6. **השפע הממוצע למין** הוגדר בתור הממוצע ההנדסי של השפע של כלל הטקסונים שנמצאו בדיגום.
7. המשתנים הסביבתיים הרציפים תוקנו (standardized) ע"י הפחתת הערך הממוצע של כלל הדיגומים ביחידה (כך שערכים נמוכים מהממוצע יהיו שליליים ולהפך) וחלוקתם בסטיית התקן של כלל הדיגומים ביחידה (כך שהערכים יבוטאו במספר סטיות תקן מהממוצע ולא במעלות צלזיוס או במ"מ גשם בשנה, למשל). צעד זה בוצע כחלק מפרוטוקול שימוש במודלים לינאריים כלליים (Santon et al., 2023) ונועד למנוע בעיות התכנסות של מודלים, להקל על השוואת מקדמים בין המשתנים הסביבתיים השונים (היות שהמקדמים מבוטאים ביחס למספר סטיות תקן מהממוצע ולא ליחידות מדידה שונות) וכן מוודא כי המגמה העתית נבחנת עבור התנאים הסביבתיים הממוצעים בחלקות הניטור (שכן השפעת כל משתנה מסביר רציף נבחנת מול ה-intercept, דהיינו, מצב בו כל המשתנים המסבירים הרציפים האחרים הם אפס).

3.3 ניתוח

ניתוח מדדי המגוון הביולוגי – עושר המינים, שפע כולל ושפע ממוצע למין

1. **המשתנים המסבירים** של כל דיגום הוגדרו בתור המשתנים שהוגדרו מראש עבור יחידת הניטור (קרוב / רחוק מחקלאות בחולות מערב הנגב, סוג הדיונה בשתי היחידות החוליות). המגמה העתית לא נבחנה עבור פרוקי הרגליים בחולות משום שטקסון זה ידוע בתנודות שלו התלויות במזג האוויר הספציפי של השנים שנסקרו, ובשל מספר שנות הדיגום הנמוך יחסית, המודל עלול לבלבל בין תנודות בין שנתיות לבין מגמה ארוכת טווח (Didham et al., 2020). בנוסף, המשתנים האקלימיים והמטאורולוגיים שהוגדרו לעיל נכללו אף הם כמשתנים מסבירים. זהות החלקה הוגדרה כמשתנה מסביר אקראי. לוגריתם עם בסיס עשר של מספר המלכודות האפקטיביות שימש כמשתנה offset במודל (דהיינו, משתנה המודד את קצב הצטברות מדד המגוון הביולוגי לפי לוגריתם עם בסיס עשר של מספר המלכודות). בנוסף, ביחידת חולות מישור החוף הוגדר גם האזור: צפון (קיסריה בלבד) או דרום (אשדוד, אשקלון או ניצנים).
2. לפני התאמת מודלים סטטיסטיים לבחינת השפעות על מדדי המגוון הביולוגי, נבדקו מתאמים (קורלציות) בין המשתנים המסבירים הרציפים (משקעים, טמפרטורה, ימים מאז השרב הראשון) על מנת שלא לכלול באותו מודל משתנים מסבירים הנמצאים במתאם גבוה (מעל 0.5 או מתחת ל-0.5; ראו Santon 2023; Dormann et al., 2023).

3. בשלב הבא, הותאם מודל לינארי מוכלל מעורב (Generalized Linear Mixed Model), בו מדד המגוון הביולוגי שנבחן היה המשתנה המגיב באמצעות החבילה `glmmTMB` (Brooks et al., 2017) גרסה 1.1.8 בסביבת R. המשתנים המסבירים של המודל היו אלו שתוארו לעיל אך לא נמצאו במתאם גבוה ומובהק זה עם זה (ראו לעיל). סף המובהקות (אלפא) שנבחר היה 5%. בשלב הראשון, נבחרה משפחת ההתפלגות של המודל באמצעות קריטריון המידע של Akaike (AIC; Akaike, 1974). במודלים של נתוני ספירות (השפע הכולל ועושר המינים) הבחירה הייתה בין התפלגות פואסונית לבין התפלגות בינומית שלילית, ואילו במודלים של שפע ממוצע למין הבחירה הייתה בין התפלגות גאוסיאנית (נורמלית) לבין התפלגות גאמא.
4. לאחר התאמת המודל המלא כאמור, נבחנה השפעת השמטת אחד המשתנים המסבירים על AIC. במידה והשמטה זו הפחיתה את מדד זה או העלתה אותו בלא יותר מאשר 2 נקודות בהשוואה למודל בעל מדד AIC הנמוך ביותר שהושג עד כה, השמטה זו התקבלה והושמט משתנה מסביר נוסף וחוזר חלילה, עד קבלת המודל הסופי, שכל השמטת משתנה מסביר נוסף ממנו רק תעלה את ערך AIC ב-2 נקודות או יותר.
5. המובהקות הסטטיסטית (ערך p) של המקדמים של המשתנים המסבירים במודל הסופי נבחנה באמצעות מבחן Wald, כפי שמחושב באמצעות הפונקציה `summary` של המודל.
6. כאשר נמצאה השפעה מובהקת של אחד ממשתני הניטור, תחזיות המודל עבור כל אחת מקטגוריות משתנה הניטור הרלוונטי (כגון קרוב / רחוק מישובים או מחקלאות); כולל השוואת צפון מישור החוף לדרומו, כאשר משתנה זה נכלל במודל הסופי) הושוּוּ זו לזו על מנת לחשב את מידת ההבדל ביניהן (באחוזים ובמספרים מוחלטים).

ניתוח הרכב המינים

1. ניתוח סימולטני של נתוני השפע של הטקסונים בוצע באמצעות ריבוי מודלים לינאריים מוכללים בעלי משתנים חבויים (לטנטיים) מחבילת `gllvm` (Niku et al. 2019, 2023) בסביבת R. המשתנים החבויים משקפים מתאמים בין דיגומים וטקסונים שאינם באים לידי ביטוי במשתנים המסבירים הקיימים במסד הנתונים, למשל בשל אינטראקציות בין מינים, דמיון בבית הגידול או בתנאי הדיגום וכו'. המשתנים המסבירים היו אלו שתוארו לעיל עבור ניתוח מדדי המגוון הביולוגי, למעט אלו שהיו במתאם גבוה זה עם זה. בחולות מישור החוף, קיים מתאם גבוה בין האקלים לבין האזור (צפון מישור החוף גשום יותר מדרומו). על כן, המודלים שנבחנו כללו את משתנה האזור ולא את המשתנים המטאורולוגיים והאקלימיים. המשתנים המגיבים היו השפעים של כל אחד מהטקסונים בכל אחד מהדיגומים, למעט טקסונים שהופיעו בפחות מעשרה דיגומים. תחילה, הותאמו שני מודלים מלאים (הכוללים את כל המשתנים המסבירים כמתואר לעיל), אחד עם התפלגות פואסונית והשני עם התפלגות בינומית שלילית. ההתפלגות שנבחרה עבור המודלים הבאים היא זו שהמודל

- שמבוסס עליה קיבל את ציון ה-AIC הנמוך יותר, בתנאי שלא נצפו בעיות בהתאמת המודל לנתונים באמצעות הגרפים הדיאגנוסטיים של החבילה.
2. בשלב הבא, הותאמו שישה מודלים מלאים למסד הנתונים, אשר נבדלו רק במספר המשתנים החבויים שלהם (בין אפס לחמישה משתנים חבויים). מספר המשתנים החבויים שנוספו למודלים הבאים נקבע לפי המודל שקיבל את ציון ה-AIC הנמוך ביותר.
 3. בשלב הבא, הותאמו כלל המודלים הכוללים את כל המשתנים המסבירים למעט אחד, ומדד ה-AIC שלהם הושווה. אם השמטת אחד המשתנים המסבירים הורידה את ציון ה-AIC בהשוואה למודל המלא, משתנה זה הושמט גם מהמודלים הבאים. בנוסף, הותאמו גם מודלים הכוללים רק את משתני הניטור (סוג הדיונה בשתי היחידות, המרחק לחקלאות בחולות מערב הנגב בלבד וצפון מישור החוף מול דרומו ביחידת חולות מישור החוף בלבד) ללא המשתנים המטאורולוגיים והאקלימיים.
 4. המודל הסופי שנבחר הוא זה שהיה בעל הציון AIC הנמוך ביותר מכלל אלו שהותאמו לנתונים. במידה ומספר מודלים היו בעלי הפרש AIC קטן מ-2, נבחר המודל בעל מספר המשתנים המסבירים הנמוך יותר מביניהם.
 5. המובהקות הסטטיסטית (ערך p) של השפעת המשתנים המסבירים על הרכב המינים נקבעה לפי מבחן Wald שבוצע ע"י הפונקציה summary של החבילה glvm.
 6. שיעור ההבדל בשפע של כל טקסון בכל יחידה נקבע לפי הנתונים הגולמיים ולא לפי תחזיות המודל הסופי, משום שתחזיות המודל היו לפעמים גבוהות באופן קיצוני בהשוואה לתצפיות. על מנת להימנע מהצגה מטעה של הנתונים, הנבדלים כאמור במאמץ הדיגום בשל מספר מלכודות אפקטיביות שונה בין דיגומים, הרכב המינים הוצג כאחוזים מסך פרוקי הרגליים שנלכדו בחלקות השייכות למשתני הניטור שנכללו במודל הסופי (עבור חולות מערב הנגב – סוג הדיונה היה משתנה שנכלל במודל הסופי; עבור חולות מישור החוף – סוג הדיונה והאזור נכללו במודל הסופי). חרף יתרונה על פני הצגת תחזיות קיצוניות של המודלים, להצגה זו חסרון בכך שהיא לא מאפשרת להשוות את השפע המוחלט של הטקסונים בין קטגוריות שונות, אלא רק את השפע היחסי. בשל ריבוי הטקסונים, הוצגו רק עשרת הטקסונים השכיחים בכל קטגוריה, ואילו התצפיות ביתר הטקסונים נסכמו תחת הקטגוריה "טקסונים אחרים".

3.4 מקורות

- Akaike H (1974). A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6): 716–723 <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Brooks ME, Kristensen K, van Benthem KJ, Magnusson A, Berg CW, Nielsen A, Skaug HJ, Maechler M, & Bolker BM (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among

- Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, 9(2): 378–400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Didham RK, Basset Y, Collins CM, Leather SR, Littlewood NA, Menz MHM, Müller J, Packer L, Saunders ME, Schönrogge K, Stewart AJA, Yanoviak SP, & Hassall C (2020). Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward. *Insect Conserv Divers*, 13: 103–114. <https://doi.org/10.1111/icad.12408>
- Niku J, Brooks W, Herliansyah R, Hui FKC, Korhonen P, Taskinen S, van der Veen B, & Warton, DI (2023). gllvm: Generalized Linear Latent Variable Models. R package version 1.4.3.
- Niku J, Hui FKC, Taskinen S, & Warton DI (2019). gllvm - Fast analysis of multivariate abundance data with generalized linear latent variable models in R. *Methods in Ecology and Evolution*, 10: 2173–2182. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13303>
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Urbanek S, Horner J (2022). Cairo: R Graphics Device using Cairo Graphics Library for Creating High-Quality Bitmap (PNG, JPEG, TIFF), Vector (PDF, SVG, PostScript) and Display (X11 and Win32) Output. R package version 1.6–0, <https://CRAN.R-project.org/package=Cairo>
- Wickham H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org/>

4. ניטור זוחלים

4.1. כללי

כל שלבי הניתוח, העיבוד וסינון הנתונים בוצעו בסביבת R (R Core Team, 2023) גרסה 4.3.0. כל השלבים תועדו בקובץ R Markdown:

Analyzing the reptile data for State of Nature Report 2023.Rmd

פלט הקובץ הזה מופיע בתור קובץ html:

Analyzing-the-reptile-data-for-State-of-Nature-Report-2023.html

הגרפים שורטטו באמצעות החבילות ggplot2 (Wickham, 2016), גרסה 3.4.4 ו-Cairo (Urbanek & Horner, 2022) גרסה 1.6-2.

4.2. עיבוד וסינון לפני ניתוח

- 1. פרוטוקול הניטור נבדל בין היחידות החוליות (חולות מישור החוף וחולות מערב הנגב) לבין היחידות האחרות.** ביחידות החוליות הוטמנו מלכודות נפילה לצד שביל טשטוש, בנוסף לסריקה רגלית, בעוד שביתר היחידות הפרוטוקול כלל סריקה רגלית בלבד. מכאן שמאמץ הדיגום ביחידות החוליות היה גבוה יותר מאשר ביתר היחידות, ולא ניתן להשוות במישרין את התוצאות מבלי לקחת זאת בחשבון. על כן, הניתוח התמקד ברמת היחידה ולא השווה בין יחידות הניטור השונות.
- 2. מסד הנתונים כלל תצפיות בזוחלים בסקרי זוחלים בכל יחידה, וכלל את מחזור הניטור, האתר, החלקה, קואורדינטות (נ.צ.), משתני הניטור בהתאם ליחידה (קרוב/רחוק מישובים או מחקלאות, בית גידול במישורי הלס ואופי הדיונה ביחידות החוליות, תת יחידה ביער המחטני הנטוע), תאריך, שעת התחלה, מין הזוחל שנצפה, מספר הפרטים, פעילות הזוחל בעת התצפית, אורך הגוף ואורך הזנב (במידה ונלכד), וקבוצת גיל (צעיר, מתבגר, תת-בוגר, בוגר או ללא מידע). דיגומים בהם לא נצפו זוחלים כלל הוספו למסד הנתונים עם הפרטים הרלוונטיים.**
- 3. נתונים משנת הפיילוט (2013) ביחידת הלס הושמטו ממסד הנתונים משום שפרוטוקול הניטור היה שונה אז לעומת המחזורים המאוחרים יותר.**
- 4. כאשר הקואורדינטות של אותה החלקה נבדלו בין מחזורים (4 חלקות בסה"כ), השתמשנו בקואורדינטות הממוצעות. המרחק בין הקואורדינטות השונות של אותה החלקה הגיע לכדי שתי אלפיות המעלה (כ-200-250 מ') לכל היותר. עבור שתי חלקות (להבים קרוב 1 ולהבים קרוב 6) לא תועדו קואורדינטות כלל.**
- 5. תוקנו שגיאות הקלדה בשמות האתרים והחלקות. שמות האתרים והחלקות גם הואחדו. למשל, האתר "חצרים" במחזור הניטור הראשון (2014) ביחידת הלס נקרא במחזורים מאוחרים יותר "סיירת שקד", אז שם האתר שונה רטרואקטיבית ל"סיירת שקד" גם במחזור הניטור הראשון.**

- בנוסף, כאשר שמות החלקות היו חסרים, נקבע שם חלקה חדש כהלחם של שם האתר, משתנה הניטור המרחבי הרלוונטי ליחידה (למשל, קרוב/רחוק מישוב) והקואורדינטות.
6. לאחר קביעת הקואורדינטות ושמות החלקות, נבחנה האפשרות שניתנו שמות שונים לאותן החלקות עצמן במחזורים שונים ע"י בחינת כלל המרחקים מכל החלקות השייכות לאותם אתרים לאורך כלל מחזורי הניטור. כאשר נמצאו שתי חלקות שונות באותו אתר בעלות אותם מאפיינים סביבתיים (למשל, שתיהן קרובות לישוב / חקלאות) ומרחקן פחות מ-5 מ' ([טווח השגיאה של מכשיר GPS](#)) זו מזו, הן אוחדו לכדי חלקה אחת, ששמה ומיקומה נקבעו שרירותית לפי אחת החלקות שהרכיבו אותה.
7. ב-20 דיגומים (כולם בחולות מישור החוף במחזור הניטור הראשון, בשנת 2014) דווחו שני **תאריכי ניטור** שונים אך עוקבים (לדוגמה, 30 בספטמבר 2014 ו-1 באוקטובר 2014) עבור אותו דיגום (שילוב של מחזור ניטור וחלקה). המקור של מצב כזה הוא פרוטוקול הניטור, בו מצויים מלכודות נפילה בשעות אחר הצהריים ואוספים אותן בבוקר למחרת. במצב כזה, השתמשנו בתאריך המוקדם מבין השניים. תאריך הניטור שימש לשקלול העונתיות בניתוח (למשל, האם זוחלים פעילים יותר בקיץ לעומת החורף; ראו להלן).
8. **שעת התחלת הניטור** נקבעה בתור השעה המוקדמת ביותר באותו דיגום (שילוב של תאריך וחלקה). שעת התחלת הניטור שימשה לשקלול דגם הפעילות היממתי בניתוח (למשל, האם זוחלים פעילים יותר או פחות בשעות הבוקר לעומת שעות אחר הצהריים; ראו להלן). שעת התחלת הניטור שונתה לשעה כפי שהייתה אילו הופעל שעון חורף (לפיו חצות היום חלות ב-11:40) כל ימות השנה, כדי להימנע מהסטה מלאכותית של מחוגי השעון בשל הפעלת שעון קיץ.
9. תאריך הדיגום שימש לצורך חישוב שני משתנים ששיקפו את **העונתיות**: סינוס וקוסינוס של המרחק ברדיאנים בין התאריך לבין היום הארוך בשנה (21 ביוני). משתנים אלו משמשים עבור רגרסיה מחזורית (Flurry & Levri 1999; Lusa & Ahlin, 2020) המאפשרת שיא ושפל במהלך המחזור השנתי (באמצעות משתנים המתייחסים למרחק ברדיאנים מהיום הארוך בשנה). בדומה לכך, סינוס וקוסינוס המרחק ברדיאנים בין שעת התחלת הדיגום לבין השעה 12:00 (בשעון חורף כאמור) שימשו לשיקוף הדגם היממתי.
10. **טקסונומיה**: שמות המינים המדעיים והעבריים נקבעו לפי טבלת תכונות מיני הזוחלים (בהנחיית פרופ' שי מאירי). זוחלים שדווחו כתתי מינים (כגון זיקית ים תיכונית) הוגדרו לרמת המין (כגון זיקית).
11. **השפע** של כל מין נקבע כמספר הפרטים שנצפו בו בדיגום. סימני שדה (עקבות, ביצים, שברי ביצים ונשלים) לנוכחות המין נספרו כפרט בודד, ללא קשר למספרם בפועל. דיווחים על מעל תשעה פרטים בתצפית אחת (היו שלושה דיווחים כאלה בכל מסד הנתונים) נחשבו לשגיאות הקלדה והומרו לתצפית בפרט בודד. הנתונים נותחו ברמת השפע לדיגום (סקר בחלקה במחזור ניטור).

12. השפע הכולל הוגדר בתור סך השפע מכלל המינים שנצפו בדיגום.

13. עושר המינים הוגדר כמספר המינים (ללא התייחסות לתתי מינים שונים) שנצפו בדיגום. הנתונים נותחו ברמת הדיגום (סקר בחלקה במחזור ניטור).

4.3 ניתוח

1. **המשתנים המסבירים של כל דיגום הוגדרו בתור המשתנים שהוגדרו מראש עבור יחידת הניטור** (קרוב / רחוק מישובים או מחקלאות, בית גידול ביחידת מישורי הלס, סוג הדיונה ביחידות החוליות, תת יחידה עבור היער המחטני הנטוע – להלן משתני הניטור), המגמה העתית (מספר השנים שחלפו מאז שנת תחילת הניטור – עבור השפע הכולל בלבד), לצד העונתיות (בכל היחידות) והדגם היממתי (עבור היחידות הלא חוליות בלבד, שכן ביחידות החוליות התצפיות הן במלכודות הפועלות במשך שעות רבות). בנוסף, ביחידת חולות מישור החוף הוגדר גם האזור - צפון (קיסריה בלבד) או דרום (אשדוד, אשקלון או ניצנים). ביחידות האחרות, זהות האתר הוגדרה כמשתנה מסביר נוסף – שלא הושמט בהליך ברירת המודלים גם במידה והפרוצדורה רמזה שיש להשמיט אותו, וזאת משום שהוא מייצג את המבנה המרחבי של הנתונים.
2. ראשית, שורטטו גרפים המתארים כיצד מדד המגוון הביולוגי משתנה לפי משתני הניטור הרלוונטיים ליחידה ובין מחזורי הניטור. גרפים אלו נועדו כעזר חזותי לניתוח הנתונים על מנת להבין מהמשתנים המסבירים צפוי להראות השפעה מובהקת סטטיסטית ולאיזה כיוון, אך לא כתחליף לניתוח סטטיסטי (ראו להלן).
3. עבור מדדי המגוון הביולוגי (עושר המינים או השפע הכולל), הותאם מודל לינארי מוכלל מעורב (Generalized Linear Mixed Model), בו מדד המגוון הביולוגי שנבחן היה המשתנה המגיב באמצעות החבילה (glmmTMB (Brooks et al., 2017 גרסה 1.1.8 בסביבת R. סף המובהקות (אלפא) שנבחר היה 5%. בשלב הראשון, נבחרה משפחת ההתפלגות של המודל, באמצעות בחינת הערך ϕ , המוגדר בתור ה-deviance חלקי דרגות החופש של המודל. כאשר ערך זה היה קטן מ-1, הועדפה התפלגות פואסונית, וכאשר הוא היה גבוה מ-1, הועדפה התפלגות בינומית שלילית.
4. לאחר מכן, הותאם המודל המלא, בו מדד המגוון הביולוגי היה המשתנה המגיב וכלל את כל המשתנים המסבירים (ראו לעיל), וכן אינטראקציות בין משתני הניטור. לאחר התאמת המודל המלא כאמור, נבחנה השפעת השמטת אחד המשתנים המסבירים על קריטריון המידע של של Akaike (AIC; Akaike, 1974). במידה והשמטה זו הפחיתה את מדד זה או העלתה אותו בלא יותר מאשר 2 נקודות בהשוואה למודל בעל מדד AIC הנמוך ביותר שהושג עד כה, השמטה זו התקבלה והושמט משתנה מסביר נוסף וחוזר חלילה, עד קבלת המודל הסופי, שכל השמטת משתנה מסביר נוסף ממנו רק תעלה את AIC ב-2 נקודות או יותר.

5. טיב התאמת המודל הסופי לתצפיות נבחנה באמצעות מבחנים וגרפים דיאגנוסטיים הזמינים בחבילה DHARMA (Hartig, 2022) בסביבת R.
6. המובהקות הסטטיסטית (ערך p) של המקדמים של המשתנים המסבירים במודל הסופי נבחנה באמצעות מבחן Wald, כפי שמחושב באמצעות הפונקציה `summary` של המודל.
7. כאשר המודל הסופי כלל מגמה עתית מובהקת, כיוונה (עליה או ירידה) ומידת השינוי (באחוזים ובמספרים מוחלטים – כגון זוחלים לדיגום בחלקה וכו') נקבעו ע"י השוואת תחזיות המודל הסופי לשנת התחלת הניטור ולשנת סיום הניטור ביחידה (כאשר המודל הסופי מצא מגמה עתית מובהקת) עבור דיגומים בעונה ובשעה ממוצעים ליחידה (כאשר העונתיות והדגם היממתי נכללו במודל הסופי). כאשר נמצאה השפעה מובהקת של אחד ממשני הניטור אך לא נמצאה מגמה עתית מובהקת, תחזיות המודל עבור כל אחת מקטגוריות משתנה הניטור הרלוונטי (כגון קרוב / רחוק מישובים או מחקלאות; כולל השוואת צפון מישור החוף לדרומו, כאשר משתנה זה נכלל במודל הסופי) הושוּוּ זו לזו על מנת לחשב את מידת ההבדל ביניהן (באחוזים ובמספרים מוחלטים). כאשר נמצאה הן מגמה עתית והן השפעה של אחד ממשני הניטור, הושוּוּ תחזיות הניטור מהשנה הראשונה לשנה האחרונה עבור כל אחת מהקטגוריות של משתנה הניטור הרלוונטי.

4.4 מקורות

- Akaike H (1974). A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6): 716–723 <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Brooks ME, Kristensen K, Van Benthem KJ, Magnusson A, Berg CW, Nielsen A, ... & Bolker BM (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R journal* 9(2): 378–400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Flurry BD, Levri EP (1999). Periodic logistic regression. *Ecology* 80(7): 2254–2260. <https://www.jstor.org/stable/176907>
- Hartig F (2022). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.6, <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>
- Lusa L, Ahlin Ā (2020). Restricted cubic splines for modelling periodic data. *PLoS ONE* 15(10): e0241364. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241364>
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Urbanek S, Horner J (2022). Cairo: R Graphics Device using Cairo Graphics Library for Creating High-Quality Bitmap (PNG, JPEG, TIFF), Vector (PDF, SVG, PostScript) and Display (X11 and Win32) Output. R package version 1.6–0, <https://CRAN.R-project.org/package=Cairo>
- Wickham H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org/>

5. ניטור עופות

5.1. כללי

הסקריפטים המצויינים בטקסט נמצאים בגיטהאב של ניתוח העופות לדו"ח מצב הטבע 2023 בכתובת הבאה: <https://github.com/Hamaarag/NationalMonitoringBirds>

כל הסקריפטים הורצו בליוויית חבילת RENV, המאפשרת שחזור של החבילות שנמצאות בשימוש על ידי הסקריפטים, בגרסאותיהן המתאימות. כל הסקריפטים רצו בסביבת R (R Core Team, 2023), גרסה 4.2.3.

5.2. עיבוד וסינון לפני ניתוח

עדכון שלד טקסונומי

שם הסקריפט:

```
get_updated_Hebrew_taxonomy_from_eBird.R
```

שמות מדעיים ועבריים עודכנו על פי השלד הטקסונומי של eBird משנת 2022, באמצעות חבילת auk (Strimas-Mackey et al., 2022) בסביבת R.

הכנת הנתונים לניתוח

שם הסקריפט:

```
prepare_bird_data_with_Z_filter.R
```

1. רק תצפיות ברמת המין (תתי מין דווחו ברמת המין שמעליהם, לדוגמה יונת בית דווחה כיונת סלעים).
2. תצפיות משנת הפיילוט של תכנית הניטור (2012) נכללו בניתוח רק אם פרוטוקול הדגימה וחלקות הניטור לא השתנו לאחר מכן.
3. לא נכללו תצפיות חורף 2013–2014 (בוצע באופן חד פעמי).
4. נכללו רק תצפיות בטווח של עד 250 מ', כדי לשמור על תצפיות שמאפיינות את בית הגידול של חלקת הניטור. סינון זה בוצע היות והעופות משמשים כאינדיקטור למצב הטבע בחלקת הניטור ולכן חשוב לאפיין אך ורק את הסביבה הקרובה לחלקה.
5. נכללו רק תצפיות של מינים שידוע שהם מקננים בתחומי יחידת הניטור. סינון זה בוצע על ידי השמטת מינים שאין אינדיקציה עבורם כי הם מקננים בתחומי יחידת הניטור בה נצפו. טבלת

האינדקציות נבנתה בידי מומחה המוביל את ניטור העופות עבור המארג, ד"ר אייל שוחט.
שם הקובץ המכיל את האינדקציות לקינון בתחומי היחידה:

Observed species breeding truth table - working copy.xlsx

6. נכללו רק תצפיות של מינים שסביר שהם מקיימים אינטראקציה עם הטווח המידי (250 מ') של חלקת הניטור. טבלת האינדקציות נבנתה בידי מומחה המוביל את ניטור העופות עבור המארג, ד"ר אייל שוחט.
שם הקובץ המכיל את האינדקציות לאינטראקציה:

20230530 species_interacting_with_sampling_point.xlsx

7. עבור ניתוחים ברמת יחידת הניטור: סוננו החוצה תצפיות החשודות כלהקות נודדות (9 תצפיות בסך הכל). עבור מין נתון ביחידת ניטור נתונה, תצפיות ב-60 פרטים או יותר המהוות מעל 10 סטיות תקן מהממוצע ביחידה נקבעו כתצפית נוכחות (מספר הפרטים=1). סינון זה לא בוצע בניתוח הארצי.
8. סינון על פי סוג הניתוח:

1- ניתוחים המתבססים על עושר מינים (עושר, שיעור מינים בסיכון וכו'): אין סינון נוסף.

2- עבור ניתוחים המתבססים על שפע פרטים (שפע פרטים כולל, שפע ממוצע למין) סוננו החוצה מינים שהוגדרו "נדירים בנתוני המארג":

i. ניתוח ברמת היחידה: נכללו מינים שעמדו בקריטריונים של מספר פרטים מינימלי (10) **וגם** מספר דגימות מינימלי. סף מספר הדגימות המינימלי נקבע לפי מפתח של מאמץ הדיגום ביחידה: 2 דגימות (=חלקות) לכל מחזור ניטור המכיל 30 דגימות. במידה ומחזור ניטור הכיל יותר מ-30 דגימות, הסף שוקלל לפי מאמץ הדיגום בפועל ביחידה; במידה ומחזור ניטור הכיל פחות מ-30 דגימות, נקבע מינימום של 2 דגימות לכל מחזור. בפועל, הסף נע בין 6 דגימות לכל הפחות עבור חולות מערב הנגב לבין 30 דגימות לכל הפחות בחורש הים תיכוני.

ii. ניתוח ארצי: נכללו מינים שנצפו ב-50 דגימות לפחות בכל תכנית הניטור.

3- ניתוחים של הרכב מינים:

i. ניתוח ברמת היחידה: זהה לסינון עבור ניתוחי שפע ברמת היחידה.

ii. ניתוח ארצי: נכללו מינים שהופיעו ב-3 יחידות ניטור לפחות וב-80 דגימות לפחות בכל תכנית הניטור.

סיווג לפי תכונות

סיווג מינים לפי תכונות (סטטוס שימור, העדפות בית גידול וכו') בוצע בהתאם לטבלת התכונות שערך המארג ממגוון מקורות. להלן טבלה המפרטת את התכונות ומקורותיהן:

שם התכונה	מקור	ציטוט	הערות
שם מדעי	שלד טקסונומי של eBird משנת 2022	Clements et al., 2022; R Core Team, 2023; Strimas-Mackey et al., 2022)	
שם עברי	שלד טקסונומי של eBird משנת 2022	Clements et al., 2022; R Core Team, 2023; Strimas-Mackey et al., 2022)	
סטטוס שימור בישראל	הספר האדום של העופות	(מירוז וחוב', 2017)	
סטטוס שימור עולמי		רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מיואב פרלמן בתאריך 29/11/2020	
סטטוס נוכחות בישראל		רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מיואב פרלמן בתאריך 29/11/2020; רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מאסף מירוז בתאריך 23/2/2021	
יציב בישראל		רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מיואב פרלמן בתאריך 29/11/2020; רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מאסף מירוז בתאריך 23/2/2021	התכונה הוגדרה לפי שדה סטטוס נוכחות בישראל
אופייני לבתה / מישורי מדבר		רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מאסף מירוז בתאריך 23/2/2021	התכונה הוגדרה לפי סינון תצורות צומח מסויימות מתוך שדה זה
מלווה אדם		רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מנועם וייס בתאריך 19/9/2019	
מתפרץ		רשימת מינים ותכונות שהתקבלה מאסף מירוז בתאריך 23/2/2021; (אתר הצפרות הישראלי; פז, 2014)	

שם התכונה	מקור	ציטוט	הערות
פולש		תכתובת אישית עם יותם לנרד (חלה"ט) ואסף מירוז במרץ 2024	
מקנן (בכל אחת מיחידות הניטור)		רשימת מינים שהתקבלה מאייל שוחט בתאריך 9/5/2023	
סביר שמקיים אינטראקציה עם הטווח המיידית (250 מ') של חלקת הניטור		רשימת מינים שהתקבלה מאייל שוחט בתאריך 30/5/2023	

5.3 ניתוח

ניתוח מדדי מגוון ביולוגי – עושר, שפע כולל ושפע ממוצע למין

1. בוצעה חקירה של הנתונים שכללה בדיקת התפלגות של התצפיות על פי משתנים שונים, בדיקת תצפיות בעלות ערכים קיצוניים, בדיקת קורלציה בין המשתנים המסבירים.
2. ניתוח באמצעות מודל לינארי מוכלל רגיל / מעורב (GLM / GLMM) מהחבילה lme4 (Bates et al., 2017; Brooks et al., 2015; al., 2023) (R Core Team, 2023). בשלב הראשון נבחרה משפחת ההתפלגויות של המודל:
 - 1 עבור ניתוחי עושר ושפע כולל הבחירה היתה בין התפלגות פואסונית לבין התפלגות בינומית שלילית, ובוצעה באמצעות חישוב מקדם הפיזור (dispersion) וכן השוואה של טיב ההתאמה של המודל המלא מכל משפחה באמצעות 3 גרפים דיאגנוסטיים: residual deviance vs. fitted, Q-Q, scale location. מקדם הפיזור חושב כך:

$$-2 \quad \frac{(\text{Res. Dev.})}{(n-p)}$$
 - 3 where Res. Dev. is the residual deviance of the model, n=number of observations, p=number of parameters in the model
 - 4 עבור ניתוחי שפע ממוצע למין הבחירה היתה בין התפלגות גאוסיאנית לבין התפלגות גאמה, ובוצעה באמצעות השוואה של טיב ההתאמה של המודל המלא מכל משפחה באמצעות אותם 3 גרפים דיאגנוסטיים.
 3. התאמה של מודל מעורב הכולל את האתר כמשתנה אקראי. אם מודל זה יצר בעיות בהתאמה, הועדף על פניו מודל בעל משתנים קבועים בלבד שכולל את משתנה האתר.

4. בחירת מודלים באמצעות AIC בשיטה של רגרסיה שלבית לאחור (backward stepwise regression). המודל הראשוני היה המודל המלא, שכלל את המשתנים שייצגו את שאלות הניטור (משתנה הזמן ומשתנים מרחביים רלבנטיים לניתוח) ומשתנים המייצגים את מועד הדגימה בשנה. אינטראקציות נכללו בין המשתנים שייצגו את שאלות הניטור (כגון בין הזמן לקירבה ליישוב), וכן בין משתנים אלה למשתנים רלבנטיים אחרים (כגון תת-היחידה עבור יחידות החורש והיער). לא נכללו אינטראקציות משולשות. המודל הנבחר היה בעל ה-AIC הנמוך ביותר, אלא אם הפער בין המודלים היה קטן מ-2 נקודות AIC, שאז נבחר המודל הפשוט יותר (המודל שהכיל את מספר הפרמטרים הנמוך יותר). בכל מקרה, משתנה האתר לא הוסר בתהליך הרגרסיה.
5. טיב ההתאמה של המודל הנבחר נבדק באמצעות גרפים דיאגנוסטיים.
6. מובהקות סטטיסטית (ערך P) של המקדמים של המשתנים במודל הסופי חושבה באמצעות מבחן חי בריבוע של וואלד, כפי שמחושב באמצעות הפונקציה summary של המודל.
7. מבחני פוסט-הוק לטובת השוואה בין רמות של משתנים איכותיים (קטגוריים), השוואת ממוצעים שוליים (marginal means) עבור משתנים המצויים באינטראקציה ובדיקת מובהקות עבור מגמות עתיות במודלים בהם משתנה הזמן היה באינטראקציה עם משתנים מרחביים בוצעו באמצעות חבילת emmeans (Lenth, 2023) בסביבת R (R Core Team, 2023).
8. ויזואליזציה של תוצאות המודלים בוצעה באמצעות חבילות jtools (Long, 2022) ו-interactions (Long, 2019).

ניתוח הרכב מינים

1. בוצעה חקירה של הנתונים שכללה בדיקת התפלגות של התצפיות על פי משתנים שונים, בדיקת תצפיות בעלות ערכים קיצוניים, בדיקת קורלציה בין המשתנים המסבירים.
2. ניתוח סימולטני של נתוני השפע של המינים שסוננו באמצעות ריבוי מודלים לינאריים מוכללים (manyglm) מחבילת mvabund (Wang et al., 2022) בסביבת R (R Core Team, 2023). בשלב הראשון נבחרה משפחת ההתפלגויות של המודל (פואסונית / בינומית שלילית) באמצעות השוואה של טיב ההתאמה של המודל המלא מכל משפחה.
3. בחירת מודלים באמצעות AIC בשיטה של רגרסיה שלבית לאחור (backward stepwise regression). המודל הראשוני היה המודל המלא (מודל בעל משתנים קבועים בלבד, לא מודל מעורב), שכלל את המשתנים שייצגו את שאלות הניטור (משתנה הזמן ומשתנים מרחביים רלבנטיים לניתוח, כולל משתנה האתר ומשתנה היחידה בניתוח הארצי) ומשתנים המייצגים את מועד הדגימה בשנה. אינטראקציות נכללו בין המשתנים שייצגו את שאלות הניטור (כגון בין הזמן לקירבה ליישוב), וכן בין משתנים אלה למשתנים רלבנטיים אחרים (כגון תת-היחידה עבור יחידות

- החורש והיער). לא נכללו אינטראקציות משולשות. המודל הנבחר היה בעל ה-AIC הנמוך ביותר, אלא אם הפער בין המודלים היה קטן מ-2 נקודות AIC, שאז נבחר המודל הפשוט יותר (המודל שהכיל את מספר הפרמטרים הנמוך יותר). בכל מקרה, משתנה האתר לא הוסר בתהליך הרגרסיה.
4. טיב ההתאמה של המודל הנבחר נבדק באמצעות גרפים דיאגנוסטיים.
5. מובהקות סטטיסטית (ערך P) של המקדמים של המשתנים במודל הסופי חושבה באמצעות מבחן חי בריבוע של וואלד, כפי שמחושב באמצעות הפונקציות `anova` ו-`summary` של המודל. ערכי ה-P תוקנו עבור השוואות מרובות.
6. ויזואליזציה של תוצאות הניתוח בוצעה באמצעות פונקציות ייעודיות.

הערות כלליות

- עונתיות (מועד הדיגום בשנה) יוצגה במודל באמצעות הפונקציות הטריגונומטריות `sin` ו-`cos`. לטובת זאת חושב ההפרש בין מועד הדיגום לבין התאריך 21 ביוני של אותה השנה, והפרש זה הומר לרדיאנים לפי המפתח $365 \text{ ימים} = 2\pi$.

5.4 מקורות

בן-משה נ, פרלברג א, ליבנה ע, קומאי א, סלינגרה ש, רנן א (2022). כיסוי הצומח ותצורות הצומח בישראל. בתוך: בן-משה נ, רנן א (עורכים). דו"ח מצב הטבע 2022 – כרך מגמות ואיומים. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב. ציפורי ישראל – הרשימה (ח.ת.). אתר הצפרות הישראלי.

<https://www.birds.org.il/he/species-checklist>

מירוז א, וין ג, לבינגר ז, שטייניץ ע, הצופה א, חביב א, פרלמן י, אלון ד, לידר נ (2017). הספר האדום של העופות בישראל. החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים.

<https://redlist.parks.org.il/aves>

פז ע (2014). שינויים ותמורות בעולם העופות במאה ה-20. קרן הדוכיפת, החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים.

Bates D, Mächler M, Bolker B, & Walker S (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1): 1–48.

<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Brooks ME, Kristensen K, van Benthem KJ, Magnusson A, Berg CW, Nielsen A, Skaug HJ, Maechler M, & Bolker BM (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal* 9(2): 378–400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>

Clements JF, Rasmussen PC, Schulenberg TS, Iliff MJ, Fredericks TA, Gerbracht JA, Lepage D, Spencer A, Billerman SM, Sullivan BL, & Wood CL (2022). The eBird/Clements checklist of Birds of the World: v2022.

- Dutta Gupta V, Areendran G, Raj K, Ghosh S, Dutta S, & Sahana M (2021). Assessing habitat suitability of leopards (*Panthera pardus*) in unprotected scrublands of Bera, Rajasthan, India. In: *Forest Resources Resilience and Conflicts*. Elsevier, pp. 329–342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00026-5>
- Gessese AA, Melesse AM (2019). Temporal relationships between time series CHIRPS-rainfall estimation and eMODIS-NDVI satellite images in Amhara Region, Ethiopia. In: *Extreme Hydrology and Climate Variability*. Elsevier, pp. 81–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00008-7>
- Goswami S, Gamon J, Vargas S, & Tweedie C (2015). *Relationships of NDVI, Biomass, and Leaf Area Index (LAI) for six key plant species in Barrow, Alaska*. PeerJ PrePrints.
- Lenth RV (2023). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Long JA (2019). *interactions: Comprehensive, User-Friendly Toolkit for Probing Interactions*. <https://cran.r-project.org/package=interactions>
- Long JA (2022). *jtools: Analysis and Presentation of Social Scientific Data*. <https://cran.r-project.org/package=jtools>
- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org/>
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, & Deering DW (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Special Publication 351: 309.
- Strimas-Mackey M, Miller E, & Hochachka W (2022). *auk: eBird Data Extraction and Processing with AWK*. <https://cornelllabofornithology.github.io/auk/>
- Wang Y, Naumann U, Eddelbuettel D, Wilshire J, & Warton D (2022). *mvabund: Statistical Methods for Analysing Multivariate Abundance Data*. <https://CRAN.R-project.org/package=mvabund>
- Wu Y, Li W, Wang Q, Liu Q, Yang D, Xing M, Pei Y, & Yan S (2016). Landslide susceptibility assessment using frequency ratio, statistical index and certainty factor models for the Gangu County, China. *Arabian Journal of Geosciences* 9(2): 84. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2112-0>
- Zhang HK, & Roy DP (2016). Landsat 5 Thematic Mapper reflectance and NDVI 27-year time series inconsistencies due to satellite orbit change. *Remote Sensing of Environment* 186: 217–233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.022>

6. ניטור יונקים

6.1 מערך הניטור

ניטור היונקים מתבצע ב-7 יחידות ניטור: חורש ים תיכוני, יער מחטני נטוע, בתות עשבוניות, ספר מדבר, הר הנגב, דרום צחיח, חולות מערב הנגב.

הניטור מתבצע הניטור במהלך חודשי הקיץ והסתיו, באמצעות מצלמות חישה בעלות יכולת צילום יום ולילה המופעלות על ידי תנועה. בכל חלקת ניטור הוצבו תשע מצלמות לאורך חתך של כ- 750–800 מטרים ובמרווחים של כ- 75–85 מטר אחת מהשנייה למשך עשר יממות לפחות.

עקרונות להצבת מצלמות חישה

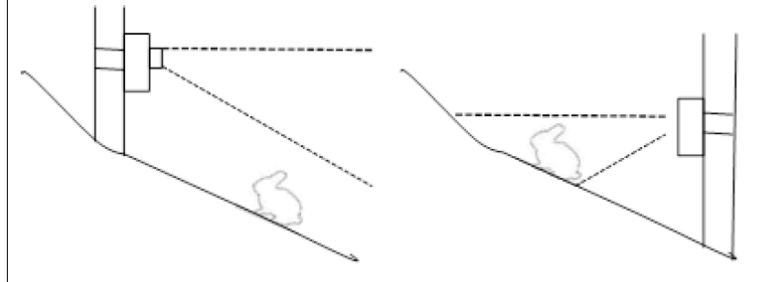
1. בכל חלקת ניטור, מצלמות החישה תוצבנה באותם המיקומים בהן הוצבו במחזור הניטור הקודם.
2. ניתן לחרוג 20–30 מטרים מהנצ. המקורי לטובת הצבה טובה יותר, למשל, במיקום עם שדה ראייה משופר ופתוח יותר ו/או בצמתי שבילים של בע"ח. ניתן להיעזר גם בסימני שדה של בע"ח בשטח, כמו עקבות, תחנות הרחה וכו'.
3. אם השטח השתנה מההצבה האחרונה או אם יושבים בנקודה אנשים יש להזיז את ההצבה אפילו לעשרות מטרים יותר.
4. יש למקם את המצלמה כ-45 ס"מ מעל הקרקע. אם יש עץ מתאים, המצלמה תקובע עליו, בזווית כזו ששדה הראייה של המצלמה יהיה רחב ככל האפשר ובתמונה שהמצלמה מצלמת לפחות 30%–40% מהתמונה יהיה הקרקע (תמונה 1).
5. אם אין עץ מתאים, תקובע המצלמה ליתד/מוט ברזל, כך שהמצלמה תהיה בגובה של 45–50 ס"מ מהקרקע וגם במקרה זה, כיוון הזווית של המצלמה הינו חשוב, כפי שפורט בסעיף הקודם (תמונה 2).



תמונה 1: הצבת מצלמת שביל על עץ בגובה של 45 ס"מ מעל הקרקע, בזווית ישרה וממול לשביל בע"ח. תמונה 2: הצבת מצלמת שביל על גבי יתד בגובה של כ-40 ס"מ מעל הקרקע.

6. במידה והמצלמה מוצבת באזור שעלולות להיות בו גניבות, ניתן להשתמש במוטות קצרים יותר ולהציב אותם בתוך שיחים נמוכים, כגון סירה קוצנית, ושגובה המצלמה המוצבת על המוט יהיה כ-30–40 ס"מ. זאת, על מנת לשפר את ההסוואה של המצלמה בשטח.
7. במידה והמצלמה מוצבת על יתד/מוט ברזל, יש לוודא כי היתד/מוט תקועים היטב באדמה ואף ניתן לשים משקולת אבן בבסיס היתד. קל וחומר במיקומים הנמצאים בשטחי מרעה, אז יש להימנע מרמיסה אפשרית של המצלמות ע"י עדר פרות/צאן.
גם חיות בר, כמו צבועים וחזירים עלולים להזיז את המצלמה או את המוט ממקומו, אם אינם מקובעים היטב, ולכן הקיבוע לאדמה הינו חשוב.
8. ניתן גם להציב את המצלמה בתוך גל אבנים בגובה של לפחות 30 ס"מ מפני הקרקע. על מנת לשפר את הסוואת המצלמה בשטח, יש להקיף את המצלמה באבנים, אך באופן שהאבנים לא יסתירו את עדשת המצלמה ובאופן שגל האבנים לא יבלוט מדיי בשטח.
9. במידת הצורך, יש לבצע חישוב של צמחייה ועשבים מול המצלמה. זאת על מנת לפתוח את שדה הראייה שלה ועל מנת למנוע צילומי סרק של המצלמה. צילומי סרק עלולים לגרום למצלמה לפעול כל הזמן וכך למלא את כרטיס הזיכרון או לרוקן את סוללות המצלמה, תוך ימים ספורים.
10. רצוי למקם את המצלמה באופן שלא תהיה בולטת בשטח ולעיתים יש להשקיע בהסוואתה. ניתן לעשות זאת ע"י הצבת היתד שעליו מוצבת המצלמה בתוך שיח ולשים מעל המצלמה ומצדדיה ענפים של אותו השיח (תמונה 3).
11. יש לכוון את עדשת המצלמה תוך התחשבות בגורמים הבאים:
 - 1- טופוגרפיה: יש להמנע מהצבה ע"ג מדרון במידת האפשר. אם יש הכרח למקם את המצלמה על מדרון, עדיף לכוון את המצלמה במעלה המדרון (תמונה ימנית באיור) או לכוון את העדשה במקביל לפני הקרקע, כך שפני הקרקע יראו אופקיים בתמונה¹. בכל מקרה אין להציב כפי שמופיע בתמונה השמאלית באיור.

Figure 4.2 – Placing a camera on a slope. If placed like the image on the left, many animals will be missed and there will be a lot of movement in the background, causing false triggers. The image on the right displays a more effective way of placing a camera on a slope.



- 2- תכסית: לשים לב שאין אובייקטים קרובים לעדשה שעלולים לייצר החזר, כגון סלעים גדולים או צמחייה.
- 3- כיוון השמש: יש להציב לכיוונים צפ'-מז' / צפון / צפ'-מע' כדי למנוע סינוור והפעלת סרק של המצלמה על ידי השמש. יש למדוד את האזימוט של כיוון העדשה באמצעות מצפן או אפליקציה בטלפון.
- 4- יש לכוון את העדשה בזווית של 60° יחסית לכיוון שביל בע"ח, כדי לקבל תמונה של בעל החיים בעודו קרוב למצלמה מחד (לעומת זווית הקרובה ל- 0°), ולמזער תמונות ריקות כתוצאה ממעבר מהיר מול המצלמה מאידך (לעומת זווית של 90°).
12. יש לוודא שהמצלמות בחלקה נתונה מכוונות לשבילי בעלי חיים שונים, על מנת למנוע מצב בו פרט יחיד מפעיל את כל המצלמות בזו אחר זו.
13. את המצלמה אין להציב ממש על שביל בע"ח בכדי לא להפריע למעבר בע"ח.
14. יש לתכנת את המצלמה בדרך הבאה:
- 1- 5 תמונות ברצף, ללא הפסקה. כלומר, מהרגע שחיישן התנועה של המצלמה מזהה תנועה, המצלמה תצלם 5 תמונות ברצף ללא הפסקה בין תמונה לתמונה.
 - 2- חיישן תנועה ברגישות גבוהה.
 - 3- פלאש בעוצמה בינונית. במידה וקיים מצב של צילום לילה רחוק יש להפעילו.
 - 4- ללא זמן המתנה בין רצפי צילום עוקבים.
 - 5- תאריך ושעה מכוונים.
15. יש לבצע מבחן הליכה (walk/motion test) ולוודא שהמצלמה אכן רואה את כל השטח הרצוי לצילום.
- במידה ודגם המצלמה הוא כזה שניתן לראות את התמונות המצולמות דרך המצלמה עצמה, ניתן להפעילה, להדגים הליכת בעל חיים בשביל/ים שממולה ולבחון בתמונותיה כיצד צילמה ועד איפה צילמה (תמונה 4).
- במידה ובדגם המצלמה יש אפשרות ל-walk/motion test, ניתן להפעילו וללכת מול המצלמה, בזווית של 0° ביחס לכיוון עדשת המצלמה (כאשר עומדים בדיוק ממול למצלמה), ובכל פעם להתרחק ולבדוק אם נורית המצלמה מהבהבת. ברגע שהנורית מפסיקה להבהב, זה מעיד על מרחק הגילוי המקסימלי שלה. מרחק זה יש למדוד באמצעות רולטקה/סרט מדידה (תמונה 5).

צילום תקינים מתוך 10 לילות ההצבה תיחשב פסולה. דוגמאות לפסילת מצלמה: מצלמה שנגנבה, מצלמה שלא פעלה כלל, מצלמה שהוסטה על ידי בעל חיים לפני הלילה השביעי וצילמה רק חלק מהשדה שהיה צריך לצלם, מצלמה שנפלה לפני הלילה השביעי.



תמונה 6: מצלמת שביל והשטח שמאחוריה, כפי שצולמה לאחר ההצבה.



תמונה 5: מדידת מרחק הגילוי המקסימלי של מצלמת שביל ע"י רולטקה.



תמונה 7: צילום המצלמה והשטח שמאחוריה לאחר הצבתה. תמונה 8: הצילום הראשון של המצלמה הינו של הסוקר, מיד לאחר ההצבה.



6.2 עיבוד נתונים

סינון תמונות ריקות נעשה באופן ידני/ע"י אלגוריתם MegaDetector המופעל ע"י Microsoft. הקוד לאלגוריתם זה נמצא בתיקיית "נספח טכני יונקים" במסמך "פרוטוקול מיון ב-WI גירסה 1.6" וגם בקובץ נפרד הנקרא "MegaDetector". ניתן גם להיעזר בלינק הבא:

<https://github.com/agentmorris/MegaDetector?tab=readme-ov-file#how-do-i-get-started-with-megadetector>

<https://github.com/agentmorris/MegaDetector/releases/tag/v5.0>

זיהוי בע"ח בתמונות נעשה ידנית או באמצעות אתר Wildlife Insights, המופעל ע"י Google. זיהוי מיני היונקים מתבצע לרמת המין על ידי מומחים. כמו כן, תועדו מס' פרטים, זווית ומצב בגרות. כיום, באתר Wildlife Insights יש לנו חשבון פעיל עם מספר פרויקטים שתמונותיהם מאוחסנות באתר. כדי לפתוח חשבון באתר יש להירשם ואז לבקש מרון חן או אלה פסטרנק המוגדרים כ-admin לצרף את החשבון החדש לחשבון המארג. כדי לרשום את החשבון החדש כ-admin יש ליצור קשר עם מערכת האתר.

בתיקיית "נספח טכני יונקים" ישנו פרוטוקול זיהוי בע"ח מפורט הנקרא, פרוטוקול מיון ב-WI גירסה 1.6". בתיקיית "נספח טכני יונקים" ישנו פירוט מפורט של כל תהליך עיבוד הנתונים שנעשה לנתוני היונקים של מחזורי T0-T4, כולל הפנייה לטבלת הנתונים האחודה והסופית.

עיבוד וסינון לפני ניתוח

בניתוח הנתונים נכללו רק מצלמות שהופיעו בהם יונקים בינוניים- גדולים. כלומר, לא נכללו מצלמות שהופיעו בהם רק בני אדם ו/או כלי רכב ו/או חיות משק/בית ו/או מינים שאינם יונקים. גם מצלמות שבהם הופיעו רק יונקים שסווגו עפ"י סוג או משפחה (ולא ברמת המין) לא נכללו.

סינון ראשוני של מינים מתוך כלל המינים שנצפו במצלמות:

- מינים מגודל נמיה ומטה נופו בגלל גודל – כולל נמיה מצויה, שפן סלע, דלק, מיני קיפודים, מיני מכרסמים (פרוטוקול לא מותאם להם).
- מיני חיות בית ומשק נופו (כולל חתול).
- המינים קרקל ושועל נגב נופו מראש בשל נדירות ומיעוט תצפיות.
- היחמור הפרסי נופה משום שתפוצתו מאוד נקודתית (נחל שורק, פארק גורן) ועל כן לא מהווה אינדיקטור טוב לשטחים המנוטרים ושאלות הניטור.

סה"כ נותחו **13 מינים**: תן זהוב, זאב אפור, צבי ישראלי, צבוע מפוספס, דרבן הודי, ארנבת מצויה, גרית מצויה, חזיר בר, שועל מצוי, צבי נגב, פרא אסייתי, ראם לבן, יעל נובי.

סינון לניתוח ארצי:

- קריטריונים לסינון (זהים עבור ניתוח של נתוני קרוב ורחוק ביחד ועבור ניתוח של נתוני רחוק בלבד):
 - תפוצה ארצית של המין + לפחות 40 מצלמות בהן המין מופיע בכל המחזורים יחד (סה"כ 2847 בקרוב ורחוק יחד)
 - מינים בעלי תפוצה ארצית מתוך הרשימה של ה-13 לעיל: תן זהוב, זאב אפור, צבוע מפוספס, דרבן הודי, ארנבת מצויה, שועל מצוי.
- כל המינים הללו נכללו בניתוח כי עברו את הסינון לעיל.

סינון לניתוח יחידות ים-תיכוניות (בתות, חורש, יער):

- קריטריונים לסינון (זהים עבור ניתוח של נתוני קרוב ורחוק ביחד ועבור ניתוח של נתוני רחוק בלבד):
 - מינים עם תפוצה ים תיכונית + לפחות 40 מצלמות בהן המין מופיע בכל המחזורים יחד (סה"כ 1894 בקרוב ורחוק יחד)
 - מינים בעלי תפוצה ים תיכונית מתוך המינים לעיל: תן זהוב, זאב אפור, צבי ישראלי, צבוע מפוספס, דרבן הודי, ארנבת מצויה, גרית מצויה, חזיר בר, שועל מצוי.
- 8 מינים עברו את הסינון – ארנבת מצויה ירדה בגלל מיעוט מצלמות.

סינון לניתוח יחידות מדבריות (דרום צחיח, חולות פנימיים, ספר מדבר, הר הנגב)

- קריטריונים לסינון (זהים עבור ניתוח של נתוני קרוב ורחוק ביחד ועבור ניתוח של נתוני רחוק בלבד):
 - מינים עם תפוצה מדברית + לפחות 40 מצלמות בהן המין מופיע בכל המחזורים יחד (סה"כ 998 בקרוב ורחוק יחד)
 - מינים בעלי תפוצה מדברית מתוך המינים לעיל: תן זהוב, זאב אפור, צבי נגב, צבוע מפוספס, דרבן הודי, ארנבת מצויה, שועל מצוי, יעל נובי, פרא אסייתי, ראם לבן.
 - עברו את הסינון: תן זהוב, זאב אפור, שועל מצוי, צבוע מפוספס, ארנבת מצויה, צבי נגב, יעל נובי.
 - ראם ופרא נופו בשל מיעוט מצלמות.
 - יעל נובי לא נותח היות ובית הגידול שלו אינו מיוצג במערך המרחבי של המארג והוא מופיע באופן נקודתי בלבד בתצפיות (יותר מ-97% מהתצפיות הן משני אתרים בלבד). לפיכך אינו מהווה אינדיקטור טוב לשאלות הניטור והמערך אינו מוכוון לנטר את אוכלוסיות מין זה.

סינון לניתוח נתונים ליחידות הניטור:

- מין שמופיע בפחות מ-20 פרטים למין ליחידה לכל המחזורים יחד, או מין שמופיע בפחות מ-20 מצלמות לאתרים שבהם 2 חלקות (קרוב, רחוק) וכחות מ-10 מצלמות שבהם חלקה אחת (רק רחוק).
- בשל מאפיינים שונים בין אתרי הניטור השונים בכל יחידה, זהות האתר הוכנסה לניתוח הנתונים.

- בשל חוסר עקביות במועדי הדגימה לאורך המחזורים השונים, העיתוי העונתי של הדגימה הוכנס לניתוח הנתונים (מפורט במסמך "עיבוד נתוני יונקים" שבתיקיית נספח טכני יונקים).
- הגדרות הקרבה ליישובים היו יחסיות ולא מוחלטות. למשל, המצלמות בחלקה "הקרובה" ליישוב עופר היו קרובות יותר ליישוב מאשר המצלמות בחלקה "הרחוקה" מעופר, אבל לא דווקא קרובות יותר מאשר המצלמות בחלקה "הרחוקה" מהיישוב אדרת. על מנת לשמור על אחידות במינוח, השפעת הקרבה ליישובים על היונקים חושבה לפי המרחקים הגיאוגרפיים (במטרים) ולא לפי המרחקים היחסיים. מרחקים אלו חושבו ע"י מיכל קורן, אחראית GIS של המארג, תוך שימוש באלגוריתם ב-GIS המחשב את המרחק של כל נ.צ. (של מצלמה) מהיישוב או החקלאות הקרובה (מפורט במסמך "עיבוד נתוני יונקים" שבתיקיית נספח טכני יונקים).
- תצפיות חריגות עבור מין נתון ביחידת ניטור נתונה, במחזור נתון ומצלמה נתונה (למשל, תצפיות ב-150 פרטים ומעלה מאותו המין, המהוות מעל 10 סטיות תקן מהמוצע ביחידה) נופו מהנתונים (מפורט במסמך "עיבוד נתוני יונקים" שבתיקיית נספח טכני יונקים).

6.3 ניתוח הרכב מינים

1. בוצעה חקירה של הנתונים שכללה בדיקת התפלגות של התצפיות על פי משתנים שונים, בדיקת תצפיות בעלות ערכים קיצוניים, בדיקת קורלציה בין המשתנים המסבירים.
2. ניתוח סימולטני של נתוני השפע של המינים שסוננו באמצעות ריבוי מודלים לינאריים מוכללים מחבילת (mvabund (manyglm) בסביבת (R (Wang et al., 2022). בשלב הראשון נבחרה משפחת ההתפלגויות של המודל (פואסונית / בינומית שלילית) באמצעות השוואה של טיב ההתאמה של המודל המלא מכל משפחה.
3. בחירת מודלים באמצעות AIC בשיטה של רגרסיה שלבית לאחור. המודל הראשוני היה המודל המלא (מודל בעל משתנים קבועים בלבד, לא מודל מעורב), שכלל את המשתנים שייצגו את שאלות הניטור (משתנה הזמן ומשתנים מרחביים רלבנטיים לניתוח, כולל משתנה האתר ומשתנה היחידה בניתוח הארצי) ומשתנים המייצגים את מועד הדגימה בשנה. אינטראקציות נכללו בין המשתנים שייצגו את שאלות הניטור (כגון בין הזמן לקרבה ליישוב), וכן בין משתנים אלה למשתנים רלבנטיים אחרים (כגון תת-היחידה עבור יחידות החורש והיער).
4. טיב ההתאמה של המודל הנבחר נבדק באמצעות גרפים דיאגנוסטיים.
5. מובהקות סטטיסטית (ערך P) של המקדמים של המשתנים במודל הסופי חושבה באמצעות מבחן חי בריבוע של וואלד, כפי שמחושב באמצעות הפונקציות anova-summary של המודל. ערכי ה-P תוקנו עבור השוואות מרובות.

6. מבחני פוסט-הוק לטובת השוואה בין רמות של משתנים איכותיים (קטגוריים), השוואת ממוצעים שוליים (marginal means) עבור משתנים המצויים באינטראקציה ובדיקת מובהקות עבור מגמות עתיות במודלים בהם משתנה הזמן היה באינטראקציה עם משתנים מרחביים בוצעו באמצעות חבילת emmeans בסביבת R (Lenth, 2023).

6.4 מקורות

Wang Y, Naumann U, Eddelbuettel D, Wilshire J, Warton D (2022). Mvabund: Statistical Methods for Analysing Multivariate Abundance Data. R package version 4.2.1

Lenth R (2023). Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.6

7. ניטור פרפרים

7.1. סקירה כללית

המארג מנתח רק מגמות מונוטוניות כדי לומר האם המדדים הנחקרים עלו, ירדו או נותרו ללא שינוי וכן לכמת את השינוי. בעוד שבפועל ייתכנו תנודות (עליות וירידות) במדדים בין שנות ניטור שונות, תכלית הניתוח היא בחינת המגמה הכללית ארוכת הטווח. לדוגמה, במידה ומדד כלשהו עולה ויורד לסירוגין, תכלית הניתוח היא להבין האם בטווח הארוך המדד יותר עולה או יותר יורד ובאיזו מידה, או שמא העליות והירידות מקזזות זו את זו לכדי היעדר שינוי. ככל שתתארך תקופת הניטור ויצטברו נתונים משנים רבות יותר, כך תעלה העוצמה הסטטיסטית של הניתוח ותעלה הסבירות למציאת מגמות מובהקות, אפילו אם הן חלשות. לשם השוואה, בנייתו אקלימי ברור למנתחי הנתונים כי שנה קריה יחסית עשויה להגיע אחרי שנה חמה ממנה, אולם עדיין בראיה על פני עשורים ניתן לזהות ולכמת מגמת התחממות מונוטונית, בנייתו שמציג את מידת ההתחממות לאורך התקופה וכן את קצב ההתחממות הממוצע לשנה או לעשור.

בפרק הפרפרים מוצגות תוצאות של מודלים לינאריים כלליים מעורבים (Generalized Linear Mixed Models), שבו המגמה העתית, הדגם העונתי והאינטראקציה ביניהם שוקללו כמשתנים מסבירים במודל הראשוני (ראו להלן אודות תהליך בחירת המודל הסופי). תחזית מודלים אלה מציגה שינוי שהולך וגובר עם הזמן ולא כוללת תנודות, היות שהזמן החולף הוא משתנה מסביר במודל. על כן, בפרק הפרפרים הוצגו התחזיות של המודלים לשתי השנים הקיצוניות בסדרת הזמנים שנותחה – שנת 2010 לעומת שנת 2022, שביניהן ההבדלים הם הגדולים ביותר.

כל שלבי העיבוד והסינון לפני הניתוח והניתוח עצמו שיתוארו להלן בוצעו בסביבת R גרסה 4.3.0. הגרפים שורטטו באמצעות החבילות ggplot2 גרסה 3.4.4 (Wickham, 2016) ו-Cairo Urbanek & (Horner, 2022) גרסה 1.6-2.

כל השלבים תועדו בקוד R (script):

Regional GAM analysis - seasonality and abundance 2023.R

7.2. עיבוד וסינון לפני ניתוח

פרוטוקול הניטור מבוסס על פרוטוקול פולארד (Pollard, 1977), ובמסגרתו המנטרים צועדים בקצב איטי במסלול הליכה קבוע מדי שבועיים, ומתעדים את כל הפרטים שהם רואים מכל המינים במרחק של כ-2.5 מ' מימנם ומשמאלם וכ-5 מ' מלפניהם, עד 5 מ' מעל הקרקע. כמו כן, ישנן גם נקודות ניטור קבועות ("גינות"), בהן המנטרים מתעדים את כל הפרפרים הנצפו בקרבתם במשך 15 דקות, ללא מסלול הליכה. במסמך זה יכוננו כל אתרי הניטור "מסלולים" לשם הפשטות. מתועדים גם ביקורים בהם לא נצפו פרפרים כלל. [למידע נוסף אודות פרוטוקול הניטור של תכנית ניטור הפרפרים ראו Comay et al., 2020].

מסד הנתונים ניתן למארג עברי ניתוחי דו"ח מצב הטבע, אולם הוא אינו שייך למארג אלא לתכנית הלאומית לניטור פרפרים בישראל (להלן תכנית ניטור הפרפרים). מסד הנתונים כולל תצפיות בפרפרים בביקורים של מתנדבי תכנית ניטור הפרפרים במסלולי ונקודות ניטור קבועים (להלן ביקורים במסלולים), בין השנים 2010 עד 2022 (כולל).

טקסונומיה: השמות המדעיים של המינים נקבעו לפי המדריך החדש של פרפרי ישראל (בנימיני, 2022). השמות העבריים נקבעו לפי החלטת האקדמיה ללשון העברית (2018). תתי מינים נותחו ברמת המין (למשל, אפורית ערבית נותחה כאפורית השלהבית).

עושר המינים בכל ביקור במסלול הוגדר כמספר המינים שנצפו בו, תוך השמטת פרפרים שלא זוהו לרמת המין. לדוגמה, בביקור בו נצפו שני כחילי שברק ועוד כחילי בלתי מזוהה, עושר המינים נקבע כמין אחד על אף שלא ידוע האם הכחילי הבלתי מזוהה היה כחילי שברק או לא. גישה זו נבחרה הודות לפשטותה, חרף היתכנותה להעריך בחסר את מספר המינים שנצפו בביקור.

השפע הכולל בכל ביקור במסלול נקבע כסך הפרפרים שנצפו בו, כולל פרפרים שלא זוהו לרמת המין. לדוגמה, בביקור בו נצפו שתי נמפיות חורשף, לבנין הצנון/הכרוב וסטירית לא ידועה, השפע הכולל הוא ארבעה פרפרים.

השפע הממוצע למין בכל ביקור במסלול חושב כממוצע ההנדסי של מספר הפרפרים מכל אחד מהמינים שהופיעו בו, למעט מינים נדירים (ראו להלן).

מינים נדירים הוגדרו כמינים עבורם מודל Regional GAM לא הצליח לחשב דגם עונתי מהימן ולו עבור שנה אחת. הגדרה זו נעוצה בכך שהיכולת של מודל זה לחשב דגם עונתי מהימן תלויה הן במספר התצפיות במין והן במורכבות הדגם העונתי שלו (Comay et al., 2020). לדוגמה, מינים בעלי מספר דורות בשנה, או מינים מקייטים (המפחיתים פעילות בקיץ אך מתעוררים חזרה לפעילות בסתיו, כגון חלק מהסטיריות) הם מינים בעלי דגם עונתי מורכב הקשה יותר לחישוב מהימן על ידי המודל.

המשתנים הסביבתיים של כל מסלול חושבו לפי מיקומה הגיאוגרפי בשכבות ממ"ג שריגיות (ראסטרויות) של ממוצע הטמפרטורה הרב שנתי (להלן טמפרטורה), של ממוצע המשקעים הרב שנתי (להלן משקעים; Fick & Hijmans, 2017), של סוג הקרקע (דן ורז, 1970; Aridic Soils of the United States and ; 2003, Israel), של אחוזי התכסיות הבאות במרחק של עד 250 מ' מהמסלול: שטח בנוי, שטח חקלאי ושטח טבעי או מיוער (מפת התכסית 2020, דומ"ט 2023) ושל המרחק של המסלול מהישוב הסמוך (המרכז למיפוי ישראל, 2013). עם זאת, היות שהמרחק מיישובים היה קצר ביותר עבור מרבית המסלולים (מרחק חציוני: 35 מטר, מרחק ממוצע: 320 מטר; אחוזון 75 של המרחק מיישוב: 318 מטר), לא נבחנה השפעת הקרבה ליישובים על פרפרים. במקום זאת, נבחנה השפעת המשתנים המסבירים האחרים עבור מסלול הנמצא במרחק ממוצע מיישוב (320 מ' כאמור) בלבד.

המשתנים הסביבתיים הרציפים תוקנו (standardized) ע"י הפחתת הערך הממוצע של כלל הדיגומים ביחידה (כך שערכים נמוכים מהממוצע יהיו שליליים ולהפך) וחלוקתם בסטיית התקן של כלל הדיגומים

ביחידה (כך שהערכים יבוטאו במספר סטיות תקן מהמוצע ולא במעלות צלזיוס או במ"מ גשם בשנה, למשל). צעד זה בוצע כחלק מפרוטוקול שימוש במודלים לינאריים כלליים (Santon et al., 2023) ונועד למנוע בעיות התכנסות של מודלים, להקל על השוואת מקדמים בין המשתנים הסביבתיים השונים (היות שהמקדמים מבוטאים ביחס למספר סטיות תקן מהמוצע ולא ליחידות מדידה שונות) וכן מוודא כי המגמה העתית נבחנת עבור התנאים הסביבתיים הממוצעים במסלולי תכנית הניטור (שכן השפעת כל משתנה מסביר רציף נבחנת מול ה-intercept, דהיינו, מצב בו כל המשתנים המסבירים הרציפים האחרים הם אפס). באופן דומה, המגמה העתית נבחנה לפי מספר השנים שחלפו מאז השנה הראשונה של הניטור (2010).

עבור מדדי המגוון הביולוגי (שחושבו כאמור עבור כל ביקור במסלול), תאריך הביקור במסלול שימש לצורך חישוב ארבעה משתנים ששיקפו את העונתיות: סינוס וקוסינוס של המרחק ברדיאנים בין התאריך לבין היום הארוך בשנה (21 ביוני), וכן סינוס וקוסינוס של כפליים מרחק זה. מדדים אלו משמשים עבור גרסיה מחזורית (Flurry & Levri 1999; Lusa & Ahlin, 2020) המאפשרת שיא ושפל במהלך המחזור השנתי (באמצעות משתנים המתייחסים למרחק ברדיאנים מהיום הארוך בשנה), או שני שיאים ושני שפלים בשנה (באמצעות המשתנים המתייחסים לכפליים המרחק מהיום הארוך בשנה). האינטראקציה בין מספר השנים שחלפו מתחילת הניטור לבין כל אחד ממשתנים עונתיים אלה הייתה מדד לשינוי בדגם העונתי. עבור מינים ספציפיים, לעומת זאת, הדגם העונתי תואר לפי מודל Regional GAM כמתואר להלן.

7.3. ניתוח

ניתוח מדדי מגוון ביולוגי – עושר המינים, שפע כולל ושפע ממוצע למין

נבחנו מתאמים (קורלציות) בין המשתנים המסבירים הרציפים (משקעים, טמפרטורה, אחוזי כיסוי מסוגי התכסית השונים) על מנת שלא לכלול באותו במודל משתנים מסבירים הנמצאים במתאם גבוה (מעל 0.5 או מתחת ל-0.5; ראו (Santon 2023, Dormann et al., 2023)). במסד הנתונים שנותח, נמצא מתאם שלילי חזק (-0.71) בין המשקעים לטמפרטורה, מתאם שלילי בינוני בין אחוז השטח הבנוי לאחוז השטח הטבעי או המיוער (-0.62) ומתאם שלילי בינוני בין אחוז השטח החקלאי לאחוז השטח הטבעי או המיוער (-0.54). עם זאת, המתאם בין אחוז השטח הבנוי לאחוז השטח החקלאי היה נמוך יותר בערך מוחלט (-0.31). על כן, המודלים שנבחנו כללו רק את אחוז השטח החקלאי מכלל משתני התכסית, והשפעת הטמפרטורה והמשקעים לא נבחנו באותו מודל (הותאמו מודלים עם טמפרטורה אך ללא משקעים או להפך).

עבור מדדי המגוון הביולוגי (עושר המינים, השפע הכולל והשפע הממוצע למין), הותאם מודל לינארי מוכלל מעורב (Generalized Linear Mixed Model), בו מדד המגוון הביולוגי שנבחן היה המשתנה המגיב באמצעות החבילה glmmTMB גרסה 1.1.8 בסביבת R. סף המובהקות (אלפא) שנבחר היה 5%. בשלב הראשון, נבחרה משפחת ההתפלגות של המודל:

א. עבור ניתוחי עושר המינים והשפע הכולל, הבחירה היתה בין התפלגות פואסונית לבין התפלגות בינומית שלילית, ובוצעה באמצעות בחינת מקדם הפיזור (dispersion parameter) של המודל בעל התפלגות בינומית שלילית בפרמטריזציה ריבועית ($nbinom2$). עבור פרמטריזציה זו, ככל שמקדם זה גבוה יותר, כך ההבדל בין הממוצע לשונות נמוך יותר ומצביע על התאמה של מודל פואסוני דווקא.

ב. עבור ניתוח השפע הממוצע למין, הבחירה הייתה בין התפלגות גואסיאנית (נורמלית) לבין התפלגות הגאמא, ובוצעה באמצעות השוואת AIC בין שני המודלים המלאים (ראו להלן), שנבדלו רק בהתפלגות שלהם. ההתפלגות שנבחרה הייתה התפלגות גאמא.

ראשית הותאם המודל המלא, בו מדד המגוון הביולוגי היה המשתנה המגיב ואילו המשתנים הסביבתיים (כמתואר לעיל), המגמה העתית, העונתיות והאינטראקציה בין המגמה העתית לבין העונתיות היו המשתנים המסבירים. זהות המסלול הייתה משתנה מסביר אקראי. לאחר התאמת המודל המלא כאמור, נבחנה השפעת השמטת אחד המשתנים המסבירים על קריטריון המידע של Akaike (AIC). במידה והשמטה זו הפחיתה את מדד זה או העלתה אותו בלא יותר מאשר 2 נקודות בהשוואה למודל בעל מדד AIC הנמוך ביותר שהושג עד כה, השמטה זו התקבלה והושמט משתנה מסביר נוסף וחוזר חלילה, עד קבלת המודל הסופי, שכל השמטת משתנה מסביר נוסף ממנו רק תעלה את ערך AIC ב-2 נקודות או יותר.

טיב התאמת המודל הסופי לתצפיות נבחנה באמצעות מבחנים וגרפים דיאגנוסטיים הזמינים בחבילה DHARMA (Hartig, 2022) בסביבת R.

המובהקות הסטטיסטית (ערך p) של המקדמים של המשתנים המסבירים במודל הסופי נבחנה באמצעות מבחן Wald, כפי שמחושב באמצעות הפונקציה `summary` של המודל.

כיוון (עליה או ירידה) ומידת השינוי (באחוזים ובמספרים מוחלטים – כגון פרפרים לביקור במסלול וכו') נקבעו לפי תחזיות המודל הסופי לשנים 2010–2022 עבור מסלול בעל משתנים סביבתיים (אלו שנכללו במודל הסופי בלבד) ממוצעים מכלל המסלולים. עבור סוג הקרקע נלקח הערך השכיח מכלל המסלולים (במקרה שלנו – טרה רוסות, רנדזינות חומות ובהירות), היות שמדובר במשתנה קטגוריאלי ולא מספרי. הערך שחושב עבור כל שנה היה הממוצע לאותה שנה (בעיגול לספרה אחת אחרי הנקודה העשרונית), שכן המודל מפיק תחזית עבור כל יום בשנה בשל הדגם העונתי של המדדים, ומידת השינוי נבחנה תוך השוואת השנה הראשונה (2010) לאחרונה (2022).

לדוגמה, במודל הסופי של עושר המינים לביקור במסלול, נכללו המגמה העתית, ארבעת משתני העונתיות, האינטראקציה של ארבעת משתני העונתיות עם המגמה העתית, סוג הקרקע והאינטראקציה של המגמה העתית עם המרחק של המסלול מהישוב הקרוב. עבור מסלול עם מרחק ממוצע מיישוב וקרקע מסוג טרה רוסה, רנדזינות חומות ובהירות, המודל חזה 3.258 מינים לביקור במסלול בממוצע עבור שנת 2010, לעומת 2.719 מינים לביקור המסלול בממוצע עבור שנת 2022. לאחר עיגול הערכים, מתקבלים 3.3 מינים לביקור לשנת 2010 ו-2.7 מינים לביקור לשנת 2022, ובסך הכל ירידה של 18.2%.

ניתוח המגמה העתית בשפע של מינים ספציפיים

הערכת השפע של מין פרפר בשנה מסוימת מתבססת על ידע מוקדם אודות העונתיות שלו, כי מספר הפרפרים הצפוי להיראות בביקור מושפע מהתאריך שלו; למשל, ביקור במסלול בשיא העונה יניב מספר פרפרים רב יותר מאשר ביקור הנערך לקראת סוף העונה. עם זאת, מטבע הדברים, ביקורי מנטרים מתנדבי מדע אזרחי במסלולי הניטור לא נערכים באותם התאריכים מדי שנה או בין מסלולים שונים, אלא בהתאם לזמינותם של המתנדבים. על כן, מתעורר צורך לחזות מה היה מספר הפרפרים שהיו נצפים אילו היו נערכים ניטורים סדירים במסלולי הניטור, ולהשתמש בתחזית זו כקלט עבור מודל המנתח את המגמה העתית בשפע.

מדד השפע הוגדר כמספר הפרפרים הכולל ממין מסוים שהיו נצפים במסלול ניטור במשך שנה, אילו היה נערך בו ביקור מדי שבוע. מדד השפע הוערך בנפרד עבור כל מין בכל מסלול ניטור. מדד זה הוערך רק עבור החבל הים תיכוני הנמוך בישראל ובגדה המערבית, המוגדר כאזור בו יורדים לפחות 350 מ"מ גשם בשנה ורומו פחות מ-700 מ' מעל פני הים, משום שרק עבור חבל ארץ זה יש נתוני ניטור בהיקף המספיק לניתוח מהימן (Comay et al., 2020). מדד השפע חושב לפי מודל Regional Generalized Additive Model (להלן, Regional GAM; Dennis et al., 2013, Dennis et al., 2016, Schmuki et al., 2022) (Schmuki et al., 2022) 1.1.3 גרסה rbms באמצעות החבילה (2016) את הדגם העונתי של פעילות המין בכל שנה לחוד, ועל בסיסו מחשב כמה פרפרים ממין זה צפויים להיראות בכל מסלול מדי יום לאורך העונה. בחרנו להשתמש בתחזית עבור ביקור מדי שבוע ולא מדי יום כדי להתאים לפרוטוקול הניטור המקורי (Pollard, 1977), הנהוג בתכניות ניטור פרפרים ברחבי העולם, במסגרתו נערך ביקור במסלול אחת לשבוע. מכאן יוצא אפוא שבניגוד למדדי המגוון הביולוגי, שנותחו לפי ערכם בכל ביקור במסלול, מדד השפע נותח לפי ערכו עבור כל מין בכל מסלול בכל שנה; לדוגמה, מספר לבניני הצנון שהיו נצפים במסלול קיבוץ סאסא בשנת 2015 אילו היה נערך שם ניטור מדי שבוע.

מודל Regional GAM מנתח עקומת מעוף לפי שנת פעילות, המוגדרת לפי יום וחודש קלנדריים. הדגם העונתי (או העקומה העונתית) שיצר מודל Regional GAM התבסס רק על מסלולים שנדגמו לפחות 3 פעמים בשנה, ושהמין נצפה בהם לפחות פעמיים. אם יותר ממאה מסלולים בשנה עמדו בתנאים אלה, נדגמו באקראי מאה מסלולים על מנת לייעל את חישוב העונתיות. עבור מינים הפעילים בחורף (בנימיני, 2022), תחילת השנה הוגדרה בתור אחד באוקטובר, ואילו עבור יתר (מרבית) המינים, תחילת השנה הוגדרה בתור אחד בינואר. עבור חלק מהמינים הוגדרו חודשים קלנדריים בהם לא צפויים להיראות בוגרים מהמין המנותח כלל, וזאת בהתאם לידע המקצועי ולספרות (בנימיני, 2022; פאר גיא, תקשורת פרטית). תנאים אלה נקבעו על סמך בחינה של הדגמים העונתיים שיצר המודל וההבנה שהם עלולים להיות שגויים בלעדיהם (ראו Comay et al., 2020). התפלגות המודל שנבחרה הייתה בינומית שלילית. העקומה העונתית שיצר מודל Regional GAM נבחנה חזותית ונשפטה כמהימנה או בלתי מהימנה על סמך הידע המקצועי של המנתח ותוך השוואה לידוע על המין מהספרות (בנימיני, 2022). עקומות עונתיות בלתי מהימנות נפסלו לניתוח. כמו כן, נפסלו תחזיות שהתבססו על ביקורים שכיסו פחות מ-10%

ממשך עונת המעוף של המין. על מנת לחשב את מדד השפע עבור שנים שעקומת המעוף שלהן נפסלה, המודל נסמך על עקומת מעוף מהימנה של אותו מין מהשנה הקרובה ביותר הזמינה, אך לא יותר מחמש שנים לפני או אחרי השנה שעקומת המעוף שלה נפסלה.

על מנת לבחון מגמות עתיות בשפע מינים ספציפיים, הותאמו מודלים לינאריים מוכללים מעורבים (Generalized Linear Mixed Models) באמצעות החבילה glmmTMB בסביבת R, בהם המשתנה המגיב בניתוח היה מדד השפע (מספר הפרפרים ממין זה שהיו נצפים אילו היה נערך ביקור במסלול מדי שבוע) עבור כל המינים שהותאם עבורם מודל Regional GAM, כמתואר לעיל. מסד הנתונים כלל את זהות המין הנחקר, השנה, המסלול ומדד השפע החזוי עבור שילוב זה. היות שתחזית מודל Regional GAM היא רציפה, ואילו המשתנה המגיב הוא ספירות במהותו, מדד השפע עוגל למספרים שלמים. אחרת, לא ניתן היה להתאים מודל לינארי מוכלל מעורב עם התפלגות המתאימה לנתוני ספירות (פואסונית או בינומית שלילית) בו מדד השפע היה המשתנה המגיב.

על מנת לחשב מגמות מהימנות בלבד, הושמטו ממסד הנתונים לניתוח מסלולים שנוטרו במשך פחות משלוש שנים וכן מסלולים בהם המין הנבחן לא נצפה בהם מעולם. זאת, במטרה להימנע מבלבול בין מגמה עתית לבין תנודות קצרות טווח (הבדלים בין שתי שנים עוקבות למשל) וכן מ"הצפת" מסד הנתונים בתצפיות אפס ממסלולים בהם המין לא נצפה מעולם, בין אם מסיבות מהותיות (בית הגידול אינו מתאים עבורו) ובין אם מסיבות טכניות (המנטר אינו מזהה אותו). סינון זה צמצם את רשימת המינים שנבחנו עבורם מגמה עתית לכדי 48 מינים.

עבור כל מין, הותאמו 32 מודלים, הכוללים את כל הצירופים האפשריים של הכללת או השמטת כל אחד מהמשתנים הבאים, ללא אינטראקציות: סוג הקרקע, המגמה העתית, ממוצע משקעים רב שנתי, אחוז השטח הבנוי במרחק 250 מ', וזהות המסלול כמשתנה אקראי. המשתנים הסביבתיים מתייחסים למסלול הניטור, שכן עבור כל מסלול ניטור חושב מדד שפע משלו מדי שנה. ההתפלגות שנבחרה היא בינומית שלילית, שכן נתוני הספירות נותנים לפיזור יתר. מכל מודל שהותאם חושבו ערכי AIC (Akaike, 1974), BIC (Schwarz, 1978).

מבין 32 המודלים הללו, נבחנו המודלים שעבורם ציון AIC היה הנמוך ביותר, או עד פער של לא יותר מ-2 נקודות AIC מהמודל בעל הציון הנמוך ביותר (להלן המודלים המועמדים). מבין המודלים המועמדים, נבחרו המודלים בעלי מספר המשתנים המסבירים ביותר (להלן המודל הסופי), ונבדק האם המודלים הללו כוללים את המגמה העתית. כאשר היה תיקו במספר המשתנים המסבירים מקרב המודלים המועמדים, לא נבחר אף אחד מהם, והמין הנבחן הוגדר כמין ללא מגמה עתית. לאחר שלב זה, נמצאו 14 מינים בעלי מגמה עתית מתוך 48 המינים שנבחנו כאמור. מתוכם, נמצא שבכולם המגמה העתית היא מובהקת סטטיסטית ($p\text{-value} < 0.05$).

לצורך חישוב מידת השינוי, חושבה תחזית מדד השפע לפי המודל הסופי עבור כל אחת מהשנים 2010 עד 2022, עבור מסלול בעל משתנים סביבתיים ממוצעים (עבור סוג הקרקע, נבחנה התחזית עבור הערך

השכיח) יחסית למסלולים בהם המין נצפה אי פעם ולא יחסית לכלל המסלולים. מידת השינוי (במספרים מוחלטים – פרפרים לשנה, ובאחוזים) נבחנה תוך השוואת השנה הראשונה (2010) לאחרונה (2022).

תוצאות נוספות

לא נמצאה השפעה מובהקת של הקרבה לישובים, התכסית או האקלים על עושר מיני הפרפרים, אולם נמצאה השפעה מובהקת של סוג הקרקע, כאשר בקרקעות חול וחמרה עושר המינים היה נמוך יותר לעומת קרקעות אחרות.

נמצאו השפעות של סוגי קרקעות שונים ותנאי האקלים על שפע הפרפרים: שפע הפרפרים היה גבוה יותר במסלולים חמים יחסית ($p=0.0056$) וכן בקרקעות רנדזינות בהירות ($p=0.0272$). ההשפעה החיובית של הטמפרטורה על השפע מנוגדת לממצאי מחקר קודם (Comay et al., 2021), שהתמקד בחבל הים תיכוני ומצא כי השפע של מרבית מיני הפרפרים יורד עם הטמפרטורה. הסבר אפשרי לכך הוא שפע רב מאוד של דרומי הסלודורה, שמופיע במספרים אדירים (מאות ואף אלפי פרפרים בביקור במסלול) לאורך הערבה וים המלח. כאשר נתוני הביקורים בהם נצפה דרומי הסלודורה הוצאו מהמודל, השפעת הטמפרטורה כבר לא הייתה מובהקת ($p=0.2203$).

7.4 מקורות

בנימיני ד (2022). המדריך החדש של פרפרי ישראל. 4 די מיקרורובוטיקס בע"מ.
בן-משה נ, חן ר, סלינגרה ש, קורן מ (2022). [שימושי קרקע \(תכסית\) בישראל](#). בתוך: בן-משה נ, רנן א (עורכים). דו"ח מצב הטבע 2022 – כרך מגמות ואיומים. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
האקדמיה ללשון עברית (2018). [שמות הפרפרים בישראל](#).
המרכז למיפוי ישראל (2013). [בנט"ל – בסיס נתונים טופוגרפי לאומי](#).
[התכנית הלאומית לניטור פרפרים בישראל](#).

Akaike H (1974). A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control* 19(6): 716–723 <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>

Comay O, Ben Yehuda O, Benyamini D, Schwartz-Tzachor R, Pe'er I, Melochna T, Pe'er G (2020). Analysis of monitoring data where butterflies fly year-round. *Ecological Applications* 30(8): e02196. <https://doi.org/10.1002/eap.2196>

Comay O, Ben Yehuda O, Schwartz-Tzachor R, Benyamini D, Pe'er I, Ktalav I, et al. (2021). Environmental controls on butterfly occurrence and species richness in Israel: The importance of temperature over rainfall. *Ecology and Evolution* 11(17): 12035–12050. <https://doi.org/10.1002/ece3.7969>

Dennis EB, Freeman SN, Brereton T, Roy DB (2013). Indexing butterfly abundance whilst accounting for missing counts and variability in seasonal pattern. *Methods in Ecology and Evolution* 4: 637–645. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12053>

Dennis EB, Morgan BJT, Freeman SN, Brereton TM, Roy DB (2016). A generalized abundance index for seasonal invertebrates. *Biometrics* 72: 1305–1314.

<https://doi.org/10.1111/biom.12506>

Dormann CF, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, García Marquéz JR, Gruber B, Lafourcade B, Leitão PJ, Münkemüller T, McClean C, Osborne PE, Reineking B, Schröder B, Skidmore AK, Zurell D, and Lautenbach S (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Oikos* 36(1): 27–46. <https://www.jstor.org/stable/10.2307/ecography.36.1.27>

Flurry BD, Levri EP (1999). Periodic logistic regression. *Ecology* 80(7): 2254–2260.

<https://www.jstor.org/stable/176907>

Hartig F (2022). DHARMa: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.6,

<https://CRAN.R-project.org/package=DHARMa>

Lusa L, Ahlin Č (2020) Restricted cubic splines for modelling periodic data. PLoS ONE 15(10): e0241364. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241364>

Brooks ME, Kristensen K, Van Benthem KJ, Magnusson A, Berg CW, Nielsen A, ... & Bolker BM (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R journal* 9(2): 378–400.

<https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>

Niku J, Brooks W, Herliansyah R, Hui FKC, Korhonen P, Taskinen S, van der Veen B, and Warton DI (2023). gllvm: Generalized Linear Latent Variable Models. R package version 1.4.1.

Pollard E (1977). A method for assessing changes in the abundance of butterflies.

Biological Conservation 12: 115–134. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(77\)90065-9](https://doi.org/10.1016/0006-3207(77)90065-9)

R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R

Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Schmucki R, Pe'Er G, Roy DB, Stefanescu C, Van Swaay CA, Oliver TH, ... & Julliard R (2016). A regionally informed abundance index for supporting integrative analyses across butterfly monitoring schemes. *Journal of Applied Ecology* 53(2), 501–510.

<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12561>

Schmucki R, Harrower CA, Dennis EB (2022) rbms: Computing generalised abundance indices for butterfly monitoring count data. R package version 1.1.3.

<https://github.com/RetoSchmucki/rbms>

Schwarz GE (1978), Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics* 6(2):

461–464, <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>

Urbanek S, Horner J (2022). Cairo: R Graphics Device using Cairo Graphics Library for Creating High-Quality Bitmap (PNG, JPEG, TIFF), Vector (PDF, SVG, PostScript) and Display (X11 and Win32) Output. R package version 1.6-0,

<https://CRAN.R-project.org/package=Cairo>

Wickham H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org/>

8. מיפוי – מערכת מידע גיאוגרפית

8.1 סקירה כללית

ניתוחי ממ"ג שנעשו בדו"ח:

- חישוב טווחי שגיאה של קטגוריות במפת התכסית (עמ' 82 בדו"ח מצב הטבע 2023).
- חישוב חלוקה ניהולית, שימושי קרקע ומאפיינים פיזיים בכל יחידה (למשל עמ' 179):
 - רמות הגנה (שטחים מוגנים סטטוטורית לכל יחידה).
 - חישוב אחריות ניהולית (שטח בניהול קק"ל/רט"ג לכל יחידה).
 - תכסית.
 - שטחי אש ואימונים.
 - חפיפה בין שטח מוגן סטטוטורית לשטח אש.
 - התפלגות סוגי המסלע.
 - התפלגות סוגי הקרקעות.
 - התפלגות הטמפרטורה השנתית הממוצעת.
 - התפלגות ממוצע המשקעים הרב-שנתי.
- מפות שהופקו:
 - מפת יחידות הניטור של המארג (עמ' 82).
 - מפת מגמת השינוי במדד הצומח (DNVI) בשטחים הטבעיים בין השנים 1984–2022 (עמ' 95).
 - מפת עושר מיני פרפרים בסכנת הכחדה בישראל (עמ' 102).
 - מפות תכסית ואתרי הניטור לכל יחידת ניטור (למשל עמ' 178).
 - מפות תצורות צומח לכל יחידת ניטור (למשל עמ' 180).
 - חולות אשדוד ב- 1970 ו- 2022; חולות קיסריה ב- 1968 ו- 2022 (עמ' 260 ו-261 בהתאמה).
 - שינויים בערכי מדד הצומח (DNVI) בשמורת ניצנים ב- 1985 ו- 2022 (עמ' 262).
 - מפת דרכים בשמורת טבע חולות עגור 2022 (עמ' 331).
 - מטעי יטבתה (עמ' 395).

8.2 חישוב טווחי שגיאה של קטגוריות במפת התכסית

בכל אחד מהשטחים נבחנה התכסית ביחס לצילום אוויר עדכני לשנת 2020. המידע עבר ניתוח שבחן אחוז שגיאה ורווח בר-סמך של המיפוי.

טווחי שגיאה של קטגוריות ששטחן קטן (למשל מופר) לא נבחנו, כי קטגוריות עם שטח קטן לא נפלו בהגדרת השטחים הנבחרים.

טווחי שגיאה חושבו באמצעות תיקוף ידני של 50 שטחים בגודל אחיד (625 מ"ר) בכל אחת מיחידות הניטור של המארג. התיקוף בוצע באופן הבא:

1. הוגרלו בשטח כל יחידה 50 נקודות במרחק מינימלי של לפחות ק"מ.
1. בכל אחד מהשטחים נבחנה התכסית ביחס לצילום אוויר עדכני לשנת 2020 (צילום אוויר של מפי" באתר govmap).
2. המידע עבר ניתוח שבחן אחוז שגיאה ורווח בר סמך של המיפוי. קוד של החישוב ניתן לבקש [בלינק](#).
3. תוצאות החישוב תורגמו לטבלה הבאה:

קטגוריות מיפוי	גודל מדגם (מספר תאי שטח בגודל 625 מ"ר)	טווח השגיאה לפי חישוב רווח בר-סמך	
		חיובי אמיתי (%)	מיפוי חסר (%)
חקלאות	93	98–89	20–7
בינוי	67	87–68	17–3
טבעי ומיוער	363	97–93	4–1
מקווי מים	17	99–73	
מופר	לא נבחן טווח שגיאה של קטגוריית 'מופר'. הבחינה כללה הגרלה של שטחים, ומכיוון ש'מופר' היה בעל שטח קטן משמעותית משאר הקטגוריות, הוא לא נפל בהגדרת השטחים הנבחרים		

8.3 פילוח ליחידות הניטור

פילוחים מרחביים ליחידות הניטור של המארג חושבו באמצעות [יחידות הניטור של המארג](#) (גרסה 4). תוצרי הפילוח שימשו לגרפים בתעודות הזהות של היחידות בכל פרק בדו"ח.

8.4. **חישוב רמות הגנה**

חושבו רמות הגנה גבוהות ורמות הגנה בינוניות. קוד של החישוב ניתן לבקש [בלינק](#).

רמות הגנה גבוהות כללו:

- שטחי קק"ל שעברו אישור לפי שכבת קווים כחולים (ז"א בחירה של שלב תכנוני).
- שטחי שמורה וגן לפי תמ"א 1.
- שמורות מוכרזות ומאושרות לפי שכבת שמורות וגנים של רט"ג.

רמות הגנה בינוניות כללו:

- שטחי קק"ל בשלב תכנוני של הפקדה או הפקדה בתנאים, לפי שכבת קווים כחולים
 - שמורות מופקדות לפי שכבת שמורות וגנים של רט"ג.
- בתעודת זהות, בפרק של כל יחידה, הוצג תחת הכותרת "שטחים מוגנים סטטוטורית" שטח משוקלל של רמת הגנה גבוהה ובינונית.

8.5. **חישוב אחריות ניהולית**

אחריות ניהולית של רט"ג כללה שטחי שמורות מוכרזות, מאושרות, ובהחלטה להפקדה (לפי שכבת שמורות וגנים של רט"ג).

אחריות ניהולית של קק"ל חושבה לפי שכבת הניהול של קק"ל. שכבה שנכון לזמן ניתוחי הדו"ח הייתה עדיין בעריכה, אך המידע הנל" היה המיטבי שאפשר להפיק לאותה התקופה.

8.6. **חישוב מאפיינים פיזיים: מסלע, קרקעות, טמפ', משקעים**

מאפיינים פיזיים של היחידה חושבו ע"י המרה לראסטרים ולאחר מכן פילוח של המידע הראסטרי ליחידות הניטור של המארג (מתואר בפרק 5).

נתוני מקור ששימשו לחישוב המאפיינים הפיזיים:

- ממוצע משקעים רב-שנתי חושבו על סמך נתונים מהאטלס המטאורולוגי לשנים 1991–2020.
- התפלגות הטמפרטורה השנתית הממוצעת חושבו על סמך נתונים מהאטלס המטאורולוגי לשנים 1995–2009).
- קרקעות חושבו על סמך [חבורות קרקע 1:250,000 של משרד החקלאות](#).
- מסלע חושבו על סמך [מפה ליתולוגית של ישראל 1:500,000 של המכון הגיאולוגי](#).