



המארג
התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע

נספח טכני

ניטור פרפרים

דו"ח מצב הטבע
ישראל 2023 | המגוון הביולוגי

ניטור פרפרים

תוכן עניינים

1.	סקירה כללית	2
2.	עיבוד וסינון לפני ניתוח	3
3.	ניתוח	5
3.1.	ניתוח מדדי מגוון ביולוגי – עושר המינים, שפע כולל ושפע ממוצע למין	5
3.2.	ניתוח המגמה העתית בשפע של מינים ספציפיים	6
3.3.	תוצאות נוספות	8
4.	מקורות	9

1. סקירה כללית

המארג מנתח רק מגמות מונטוניות 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 מקצזות 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, בניתוח אקלימי ברור למנתחי הנתונים כי שנה קרירה יחסית עשויה להגיע אחרי שנה חמה ממנה, אולם עדיין בראיה על פני עשורים ניתן לזהות ולכמת מגמת התחממות מונטונית, בניתוח 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-UrbaneK & Cairo (Horner, 2022) גרסה 1.6-2.

כל השלבים תועדו בקוד R (script):

Regional GAM analysis - seasonality and abundance 2023.R

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 יכונה 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 חורש, 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 מהסטריות) 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 (ראסטיות) 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 Israel, 2003), 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 מישוב: 318 מטר), לא נבחנה השפעת הקרבה ליישובים על פרפרים. במקום זאת, נבחנה השפעת המשתנים המסבירים האחרים עבור מסלול הנמצא במרחק ממוצע מישוב (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 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 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.

3. ניתוח

3.1. 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 שנותר, 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 הייתה 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 גאוסיאנית (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 קטגוריאל ואלא 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%.

3.2. 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) בסביבת R, המחשב (et al., 2016) באמצעות החבילה rbms גרסה 1.1.3 (Schmuki et al., 2022) בסביבת R, המחשב

ראשית 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% ממשיך 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 שנבחנה 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 הנמוך 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 הנבחר 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).

3.3 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 ($p=0.2203$).

4. מקורות

- בנימיני ד (2022). המדריך החדש של פרפרי ישראל. 4 די מיקרובוטקס בע"מ.
- בן-משה נ, חן ר, סלינגר ש, קורן מ (2022). שימושי קרקע (תכנית) 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/>