דו"ח מסכם

לקרן יד הנדיב "נקודת ח"ן"

לקידום ערכי נוף וסביבה באזורים חקלאיים בישראל

אוגוסט 2006

שם המחקר:

אזורים חקלאיים בשירות הפרפרים: שימור המגוון הביולוגי בשטחים פתוחים לאורך הגרדיאנט האקלימי בישראל

חוקרים:

ד"ר גיא פאר[1], ד"ר סלעית קרק[1] ומר דובי בנימיני[2]

1: המעבדה לחקר המגוון הביולוגי, המחלקה לאבולוציה, סיסטמטיקה ואקולוגיה, המכון למדעי החיים, האוניברסיטה העברית בירושלים; קמפוס גבעת רם, ירושלים 91904

2: נשיא אגודת חובבי הפרפרים; רח' לבונה 91, בית אריה 71947

מס' תקציב: 0397532

תקופת המחקר: אפריל 2005 – אוגוסט 2006

Final Report

Butterfly Diversity and Conservation in Agricultural Landscapes across the Climatic Gradient in Israel: Incorporating Behavioral Mechanisms

Guy Pe'er[1], Salit Kark[1] and Dubi Benyamini[2]

1: The Biodiversity Research Group, Dept. of Evolution, Systematics and Ecology, The Institute of Life Sciences, The Hebrew University of Jerusalem, Givat Tam Campus, 91904 Israel

2: President of Lepidopterists' Society of Israel; Levona st. 91 Beit Arie, 71947, Israel

August 2006

תקציר

שטחים חקלאיים מכסים חלקים נרחבים מכדור הארץ, ומן השטחים הפתוחים בישראל. על כן השפעתם הפוטנציאלית על המגוון הביולוגי גדולה. מטרת המחקר היתה לאמוד את הערכיות של שטחים חקלאיים בהקשר של מגוון המינים, בין השאר כדי לאפשר הכללה של מגוון המינים במערך קבלת החלטות בישראל. המחקר התמקד בפרפרי היום ומבוסס על גישות מחקר וכלי מחקר מגוונים ומתקדמים. המחקר בחן את השתנות מגוון מיני הפרפרים והתנהגותם במעבר משטחים טבעיים לתוך שטחים חקלאי סמוכים להם לאורך גרדיאנט אקולוגי. בחרנו לעבוד בשדות חיטה ומטעי זיתים לאורך גרדיאנט המשקעים בישראל (100-800 מ"מ גשם). במהלך הדיגום ביצענו מעקב קצר אחר התנהגות המעוף של מרבית הפרפרים שנצפו (כ- 2000 פרטים). ע"י כך קשרנו בין מגוון המינים לבין התנהגות המינים השונים. בניתוח הנתונים התייחסנו גם אל מאפייני השדה (ממשק, גודל), גבול השדה (אזור השוליים) והשטח שמחוץ לשדה (בתה או יער קק"ל). באביב 2006 דגמנו במהלך כ- 40 ימי דיגום בשדות השונים, סה"כ 2268 פרפרים מ- 42 מינים שונים. מתוכם, נאספו מסלולי התנועה של 1868 פרפרים שונים. בכך, המחקר סיפק מאגר נתונים יוצא דופן בגודלו, המאפשר לבחון דגמים של מגוון המינים יחד עם דגמי התנהגות. במחקר נמצאה השפעה ברורה של האקלים על מגוון המינים, כאשר מגוון המינים גבוה יותר באזורים גשומים לעומת אזורים שחונים. מגוון המינים במטעי זיתים היה גבוה מזה שבשדות חיטה, במיוחד אם שדות החיטה נמצאו מול יער אורנים צפוף של הקק"ל. בשדות חיטה, מגוון המינים הגבוה ביותר היה באזור השוליים, בינוני בשטח הטבעי, ואילו השדות עצמם היו עניים מאוד בפרפרים ולא נמצאו בהם מינים "ייחודיים" (כאלה שלא נראו מחוץ לשדה). במטעי הזיתים, מגוון המינים היה גבוה באזור השוליים ובשטח הטבעי ונמוך יותר בתוך המטע, אך כל אחד משלושת האזורים (השטח הטבעי, אזור השוליים והמטע עצמו) תרם מינים "ייחודיים". מינים נדירים או בעלי חשיבות לשמירת טבע נמצאו בשטחים טבעיים וכן בתוך המטעים, אך לא בשוליים או בתוך שדות חיטה. מגוון המינים השתנה בהדרגה בין השטח הטבעי לבין אזור השוליים, בזכות השתנות הדרגתית בהתנהגות המעוף של מרבית המינים ובעיקר מינים המאפיינים את אזור השוליים. עם הכניסה לשדות חיטה, השתנה מגוון המינים והתנהגותם באופן חד ומיידי: מרבית הפרפרים נמנעו לגמרי מלהיכנס אל השדה או נטו לעוף מהר וישר (דגם תנועה המאפיין הפצה בין בתי גידול). לעומת זאת, התנהגות הפרפרים ומגוון המינים השתנו באופן הדרגתי לאורך גרדיאנט המרחק לתוך מטעי הזיתים, כאשר חלק מהפרפרים עברו בהדרגה למצב "הפצה" אך אחרים נעו בדגמים המאפיינים תנועה בתוך בית גידולם. המחקר מצביע על הפוטנציאל של מטעי זיתים, במיוחד תחת ממשק מסורתי, להוות בתי גידול מתאימים לשימור מגוון המינים בישראל. לעומת זאת שדות חיטה נמצאו עוינים למרבית המינים, למעט שדות בעיבוד אקסטנסיבי בדרום הארץ. המחקר מצביע על שולי השדות כאזור התורם מינים ייחודיים ועל כן בעל חשיבות גבוהה לשימור מגוון המינים. יערות קק"ל נמצאו עניים במינים ובעלי חשיבות נמוכה לשמירת טבע, למעט כאשר העצים פזורים וקיימת צמחייה רבה ביניהם. על כן, ישנה חשיבות רבה לאופי החקלאות על שימור המגוון הביולוגי.

Abstract

Agricultural areas comprise a large portion of the Earth and an important component of the open spaces in Israel. Therefore, their potential importance and impact on biodiversity is large. Our study aimed to characterize changes in butterfly diversity between natural areas and neighboring agricultural fields. We focused on wheat fields and olive groves across the climatic gradient in Israel (annual rainfall ranging from 100 to 800 mm). We developed a novel approach for data collection in the field, in which the movement path and behavior of every butterfly is recorded during transects (ca. 2000 individuals). Thereby, we could link biodiversity patterns with behavior. In the data analysis we considered the characteristics of the field (management, size), the edge, and the area neighbouring the fields (open grasslands vs. pine forests planted by the JNF). Several interesting results emerge from this study: (1) We found a significant impact of climate on species diversity, with higher diversity in higher rainfall areas. (2) Butterfly diversity was higher in olive groves than in wheat fields, especially if the latter were facing JNF forests. (3) In wheat fields, species diversity was high in the edge, lower at the natural area, and far lower inside the fields. Further, no "unique" species were fond in the fields (i.e. species that could not be found at the nature or edge areas). In olive groves, diversity was high in the edges and the natural areas and lower in the groves, but each of the three zones (nature, edge and grove) contributed species that were unique to that zone. (4) Species of conservation interest could be found in natural areas and inside olive groves, but not in edges or inside wheat fields. (5) Species diversity changed gradually while moving from the natural area toward the edge, due to a gradual change in the behaviour of most species (especially edge-affiliated species). Upon entering wheat fields, species diversity and behaviour altered dramatically and immediately: most species avoided the field or started flying straight and fast (a movement pattern typifying dispersal behaviour). However, species diversity and behaviour changed gradually across the distance-gradient into olive groves, with some species altering gradually into a dispersal pattern and others altering into patterns typifying home-range behaviour, such as random movement. Our study indicates the potential of olive groves to provide suitable habitats for preserving biodiversity in Israel, especially if traditionally-managed. Wheat fields were found to be hostile to most species, except for

extensively-farmed fields in the south of Israel. Field edges were a habitat of itself with its unique species, and therefore should be of high importance for preserving biodiversity. JNF pine forests were poor in species and therefore may receive lower conservation priority, unless if the trees are sparse and vegetation can develop among them. Therefore, there is much importance to the type of agriculture on the biodiversity maintained in these landscapes.

מבוא

אובדן המגוון הביולוגי עקב פעילות האדם מהווה בעיה סביבתית מהקשות ביותר בעולם בכלל ובמדינת ישראל בפרט. הרס בתי גידול וקיטועם, יחד עם העלמות שטחים פתוחים, מביאים להכחדת אוכלוסיות מקומיות, להיעלמות גנים ייחודיים ואף להכחדת מינים. עקב כך, נפגע התפקוד של מערכות אקולוגיות, יחד עם השירותים הכלכליים והערכיים שמערכות אלו מספקות לאדם. לכן, **שמירה על המגוון הביולוגי הכרחית הן למערכות טבעיות והן לאדם**. בשנים האחרונות גוברת ההכרה כי שימור המגוון הביולוגי אינו ניתן להשגה על-ידי הקמת שמורות טבע בלבד. מכיוון שמרבית מהשטחים בעולם מנוהלים או מושפעים ע"י האדם, חשוב לא פחות לנהל את השטחים הפתוחים מושפעי-האדם כך שאלו יאפשרו את קיומם של מינים רבים ככל האפשר, הן בתוך השטחים הטבעיים והן מחוצה להם. בישראל כמו גם באזורים רבים אחרים בעולם, שטחים חקלאיים מהווים חלק עיקרי מן השטחים הפתוחים המנוהלים ע"י אדם. לפיכך, **לשטחים הפתוחים ככלל <u>ולשטחים החקלאיים</u> בפרט יש חשיבות מכרעת בשימור מגוון המינים בישראל.**

מטרת המחקר היתה לאמוד את הערכיות של שטחים חקלאיים בהקשר של מגוון המינים, בין השאר כדי לאפשר הכללה של מגוון המינים במערך קבלת החלטות בישראל. המחקר התמקד בפרפרי היום ומבוסס על גישות מחקר וכלי מחקר מגוונים ומתקדמים.

באופן ספציפי, מטרות המחקר היו:

(1) לבחון את הפוטנציאל של שטחים חקלאיים שונים לקיים את המגוון הביולוגי;

(2) לבחון כיצד מושפע מגוון מיני הפרפרים, הן בשטחים חקלאיים והן בשטחים טבעיים הסמוכים להם, מגורמים <u>בסקאלה המקומית</u> (סוג הגידול, אופי הממשק, המבנה המרחבי של שדות וריחוקם מאזורים טבעיים) <u>ובסקאלה האזורית</u> (הגרדיאנט האקלימי);

(3) לקשור בין תהליכים ב<u>רמת הפרט</u> (התנהגות) לתהליכים ב<u>רמת החברה</u> (דגמי עושר ומגוון), בכדי להגיע להבנה טובה של הגורמים המרחביים הקובעים את מבנה חברת הפרפרים בבתי גידול לא-טבעיים;

(4) להעלות את מודעות הציבור לחשיבות השטחים החקלאיים בשמירת טבע, ובמיוחד לשמירה על פרפרים נדירים בישראל.

שנת המחקר 2005 הוקדשה לאיתור שדות חקלאיים ובחירת נקודות דיגום, **תוך התמקדות בשני גידולים עיקריים: חיטה וזיתים**. כמו כן, בוצע מחקר מקדים שבו נבחנו שיטות הדיגום וכן שיטות לניתוח הנתונים ולסיכומם. בשנת המחקר 2006 בוצע עיקר המחקר, שכלל:

1. השלמת איתור שדות חקלאיים, בחירת נקודות הדיגום המדויקות וסימונן.
2. איסוף נתונים בכל אתרי המחקר.

3. תיאור מאפייני השדות השונים באמצעות כלי GIS.
4. ניתוח נתונים.

להלן מסוכמות תוצאות המחקר העיקריות.

שיטות

1. איתור שדות חקלאיים

באמצעות סקרי שדה נרחבים, תוך שימוש במפות לווין וכן תצלומי אוויר מפורטים (אורטופוטו) שהתקבלו באדיבות הקק"ל (ברזולוציה של 80 ס"מ), בחרנו 14 שדות חיטה הנושקים לשטחי בתה, 8 מטעי זיתים הנושקים לבתה, וכן, בהתאם לבקשת הקרן וכן לבקשת הקק"ל, 5 שדות חיטה הנושקים לחורשות אורנים של הקק"ל (איור 1). בחירת השדות ונקודות הדיגום בהם בוצעה עפ"י פרוטוקול מדויק שמטרתו היתה להקטין ככל האפשר את מספר הגורמים המשפיעים על התנהגות הפרפרים. הגורמים המאפיינים את השדות שנבחרו:

1. עומק השטח הטבעי (או יער הקק"ל) 100 מ' לפחות, כדי לאפשר חתך תצפית שעומקו 50 מ' לתוך השטח הטבעי.
2. עומק השדה 200 מ' לפחות, כדי לאפשר חתך שעומקו 100 מ' לתוך השדה. במקרה שעומק השדה היה קטן מ- 200 מ', חתך הדיגום הוארך אל צידו השני של השדה כדי לבחון את השפעת השוליים משני צידי השדה.
3. השטח הטבעי מאופיין ע"י בתת עשבוניים או שיחים בלבד, ואינו מנותק משטחים טבעיים אחרים.
4. השטח החקלאי הינו תחילתו של אזור חקלאי נרחב, כך שהפרפרים הנכנסים אל השדה אינם יכולים לראות שטח טבעי מעבר לקצה השדה.
5. הגבול בין השדה לשטח הטבעי הינו חד וברור, כאשר גבולות ללא דרך עפר הועדפו. אורך הגבול 250 מ' לפחות, כדי לאפשר ביצוע 3 חתכים שהמרחק ביניהם 50 מ' והמרחק מהם לקצה השדה והשטח הטבעי הינו לפחות 50 מ'.
6. המחקר בוצע בשדות חיטה ממוכנים בלבד (מונוקולטורה) למעט באזור הנגב ששם נמצאו בעיקר גידולי שדה אקסטנסיביים של הבדואים. במטעי זיתים נבחרו רק מטעים בוגרים שבהם, בין הזיתים, לא קיימים גידולים נוספים.

במהלך סקרי השדה סומנו כל חתכי הדיגום, כדי לאפשר חזרה על חתך דיגום זהה בכל ביקור באתרים. דוגמא למטע זיתים העונה לכל הדרישות הללו מובאת באיור 2א' יחד עם סימון מסלול הדיגום שבוצע בו.

2. שיטות דיגום

עונת הדיגום נמשכה בין תחילת מרץ לסוף מאי 2006, כך שכללה את עונת פעילות הבוגרים של מרבית מיני הפרפרים בישראל (אביב-קיץ). שיטת הדיגום התבססה על עונת מחקר מקדימה (אפריל 2005), שבה נקבע אופן איסוף הנתונים האופטימלי. שיטה זו מבוססת על שני תצפיתנים המבצעים יחד שלושה חתכי דיגום אנכיים לקו שולי השדה, החל מ- 50 מ' בתוך השטח הטבעי וכלה בעומק של 100 מ' בתוך שטח השדה (איור 2א). בנוסף לחתך האנכי בוצעו שלושה חתכים אופקיים, האחד בעומק השדה, אחד בשטח הטבעי ואחד לאורך קו הגבול בין השדה לשטח הטבעי.

דיגומי פרפרים בוצעו בימים בהירים, כאשר מהירות הרוח המקסימלית קטנה מ- 10 קמ"ש והטמפ' גבוהה מ- 18ºC ונמוכה מ- 33ºC, בין השעות 9:00 ל- 15:00. איסוף נתונים בוצע אך ורק תחת קרינת שמש ישירה וכאשר מהירות הרוח נמוכה מ- 7 קמ"ש. במשך הדיגום נרשמו לא רק הזהות והמיקום של כל פרפר שנצפה, אלא גם מסלול התנועה של מרבית הפרטים (focal observations). כל תצפית התנהגותית נמשכה עד 20 שניות או עד מרחק של 50 מ' במקרה שהפרפר ביצע מעוף מהיר. מסלול התנועה נשמר ע"י GPS, ברמת דיוק של 1-5 מ'. בנוסף למסלול התנועה, נרשמה התנהגות הפרפר ומהירות המעוף. בכך ניתן היה לאפיין לא רק את עושר המינים בכל נקודה לאורך החתך, אלא גם את השינוי בהתנהגותם עם גרדיאנט המרחק לתוך השדה. דוגמא לתוצאה של איסוף הנתונים באופן זה מובאת באיור 2ב' שם ניתן לראות את נקודות ה- GPS שנאספו בשדה נתון, יחד עם מסלולי התנועה של כל הפרפרים באותו שדה.

תוצאות

במהלך כ- 40 ימי דיגום בשדות השונים, נצפו סה"כ 2268 פרפרים מ- 42 מינים שונים. מתוכם, נאספו מסלולי התנועה של 1868 פרפרים שונים. בכך, המחקר סיפק מאגר נתונים יוצא דופן בגודלו, המאפשר לבחון דגמים של מגוון המינים יחד עם דגמי התנהגות.

ניתוח ראשוני של התוצאות בהתייחס לנתוני האקלים בכל אתר מראה כי מגוון המינים הכולל שנצפה בכל אתר עולה באופן מובהק עם כמות המשקעים באזור (איור 3). עם זאת, ניתן לראות כי רוב נקודות המידע המתארות מטעי זיתים נמצאות מעל קו הרגרסיה ואילו רוב נקודות המידע המתארות שדות חיטה (בעיקר מול יערות אורנים) נמצאות מתחת לקו הרגרסיה. מכאן ניתן להסיק שמעבר להשפעת האקלים על מגוון המינים, מגוון המינים בשדות חיטה נמוך ממגוון המינים באזורי מטעי זיתים.

השוואת מגוון המינים בשטח הטבעי, בשוליים ובשטח השדה

כדי לבחון האם המינים שנצפו הופיעו בשטח הטבעי (או מטע הקק"ל), בשוליים או בתוך השדה, הצבנו את עושר המינים בכל אחד מהאזורים מול כלל עושר המינים שנצפה בכל אתר. באיור 4 ניתן לראות כי בשדות חיטה מול בתה, תרומת השוליים לעושר המינים היתה הגדולה ביותר, תרומת השטח הטבעי היתה

קטנה מעט, ואילו בשטח החיטה נמצא עושר נמוך מאוד של מינים. לעומת זאת, בשטחי מטעי הזיתים נמצאה תרומה שווה לשטח השוליים ולשטח הטבעי, וכן נמצאה תרומה גדולה יותר של מינים משטח המטע עצמו. בשטחי חיטה מול יערות קק"ל, שטחי השוליים תרמו את מירב המינים ואילו התרומה של שטח היער עצמו היתה נמוכה מאוד. זאת למעט אתר יחיד שבו עיקר המינים נצפו בשטח הנטוע. חשוב לציין שבאתר זה (יער ליד חנתון) העצים ביער פזורים וקיימים כתמי עשבוניים ביניהם, בעוד שבכל שטחי היער האחרים העצים היו צפופים למדי.

אחת השאלות החשובות בהקשר זה הינה האם המינים שנצפו בכל אחד מהשטחים הינו "ייחודי" או שניתן למוצאו בל שלושת סוגי בתי הגידול. כדי לבחון שאלה זו, ספרנו את מספר המינים שהופיעו אך ורק באחד משלושת בתי הגידול (שדה בלבד, שוליים בלבד או שטח טבעי בלבד). ניתן לראות כי תרומת השדה היתה קטנה מאוד בכל שדות החיטה. לעומת זאת, מטעי זיתים תרמו מגוון גדול יחסית של מינים, במיוחד באזורים עתירי-משקעים. זאת בזכות העובדה שמיני חורש ויער שלא הופיעו בשטח הבתה נצפו בתוך שטח המטע. ההשפעה האקלימית מוסברת בכך שמטעי הזיתים בצפון הארץ הינם ברובם מטעים מסורתיים ללא ריסוס ובממשק אקסטנסיבי יחסית, לעומת מטעי זיתים בדרום שנמצאו תחת ממשק ממוכן יותר. תרומת השוליים מבחינת מינים אופייניים היתה גבוהה יחסית בשדות החיטה. גם כאן נמצאה השפעה קטנה של הגורם האקלימי, כאשר שוליים באזורים עתירי-משקעים תרמו יותר מינים בשדות חיטה. במיוחד נראה כי תרומת שטח השוליים עולה ככל שרוחב השוליים עולה (ניתוח נתונים אלה, במיוחד בהקשר של ממשק השדה, נמשך עדיין).

התרומה של השטחים הטבעיים ויערות הקק"ל השתנתה ללא חוקיות ברורה בהקשר האקלימי, ונמצאה קשורה במיוחד למאפייני בית הגידול בכל אחד מהאתרים (כיסוי הצומח, מגוון הצומח ובמיוחד מגון מיני הפונדקאים לפרפרים).

מבחינת מינים המאפיינים שטחים טבעיים או מינים בעלי חשיבות לשמירת טבע: באתרי שדות החיטה נמצאו מינים כאלה אך ורק בשטח הטבעי (למשל *כחליל מנומר*, *נימפית המדבר*). במטעי הזיתים, לעומת זאת, נמצאו מינים בעלי חשיבות הן בשטחים הטבעיים והן במטעי הזיתים (למשל *צבעוני קשוט*). שני המינים הנדירים ביותר, *נימפית צפונית* ו*כחליל אנטיוכיה*, נמצאו אך ורק במטע זיתים יחיד בבקעת בית הכרם, שאופן עיבודו מסורתי. על אף מגוון המינים הגבוה בשטחי השוליים, לא נמצא אף מין נדיר או ייחודי בשטחים אלה. מינים אופיניים לאזור השוליים כללו: כחליל השברק, לבנין התלתן, נמפית הדרדר, הספרית הנשרן.

ניתוח הקשר בין מגוון המינים וההתנהגות עם גרדיאנט המרחק

ניתן לבחון את השתנות חברת הפרפרים עם מגוון המינים ע"י הצגת מספר המינים שהצטברו עד למרחק נתון לאורך החתך, החל מהשטח הטבעי לתוך השדה או להיפך. ניתן לראות שהצטברות המינים באזורי חיטה מתרחשת בשטח הטבעי ובעיקר באזור השוליים, אך הגרף מתייצב בהגיעו לשטח החיטה – כלומר שאין הצטברות מינים חדשים (איור 6א', קו אדום). הגרף ההפוך לו, המציין הצטברות מינים מהחיטה אל

השטח הטבעי, מראה הצטברות איטית של מינים בתוך שטח השדה, עליה תלולה במיוחד באזור השוליים והמשך עלייה באזור השטח הטבעי (איור 6א', קו שחור). חוסר הסימטריה בין שני הגרפים מצביע על חשיבותם של אזור השוליים והשטח הטבעי באזורי שדות החיטה. תמונה דומה מסתמנת בשדות החיטה שמול יערות קק"ל (איור 6ג'). לעומת זאת, במטעי זיתים ניתן לראות שגרף הצטברות המינים סימטרי בין השדה לבין השטח הטבעי, מה שמצביע על כך שכל אחד משלושת האזורים – המטע, השוליים והשטח הטבעי – תורם מינים ייחודיים ושונים למערכת כולה (איור 6ב).

מדד ראשון להבדלים בהתנהגות הפרפרים בין שדות חיטה למטעי זיתים מתקבל עם הצבת צפיפות הפרטים שנצפו וצפיפות המינים מול המרחק מן השטח הטבעי אל השדה. כאן ניתן לראות בבירור שבשדות החיטה מרבית הפרפרים נראו באזור השוליים ואילו בשטח הטבעי נצפו פחות פרפרים ופחות מינים (איור 7א לחיטה מול בתה ו- 7ג לחיטה מול יער קק"ל). עוד ניתן לראות שמספר הפרפרים ומספר המינים יורד מיד עם הכניסה אל שטח החיטה. לעומת זאת, במטעי הזיתים נמצא כי מבנה חברת הפרפרים משתנה באופן הדרגתי עם גרדיאנט המרחק, כך שמספר הפרטים ומספר המינים עולה באופן הדרגתי מן השטח הטבעי אל שולי המטע, ולאחר מכן יורד באופן הדרגתי משולי מטע הזיתים אל תוכו.

כדי לאפיין את הקשר שבין התנהגות מיני הפרפרים השונים לבין שפעתם בשטחים השונים, השתמשנו במספר מדדים להתנהגות התעופה של הפרפרים. בין המדדים: מהירות התעופה (זמן מתחילת התצפית לסיומה מחולק למרחק הכולל שהפרפר עבר), מרחק בין נקודות פנייה (נקודות ה- GPS נלקחו כאשר הפרפר ביצע מנוחה או פנייה. במקרה של מעוף ישר המרחק נקבע כמרחק בין תחילת התצפית לסיומה), זוית הפנייה בין כיווני המעוף השונים, והיחס בין המרחק בין נקודת סיום התצפית לנקודת ההתחלה שלה (מרחק נטו) לבין כלל מרחק התעופה שהפרפר ביצע במהלך התצפית (מרחק תעופה). היחס הזה, המכונה Net/Total distance, מקבל ערך של 0 אם פרפר עף וחוזר לאותו מקום (או אם הפרפר נח במהלך כל התצפית), 1 אם הפרפר עף ישר, או כל ערך בין 0< Net/Total <1 אם הפרפר עף באופן אקראי. יתרון המדד האחרון הוא בכך שהוא מאפשר הפרדה פשוטה בין התנהגות לבין אופן המעוף, כאשר התנהגות "ביתית" (home-range) או טריטוריאלית מתבטאת בערכים נמוכים של המדד. באמצעות מדד זה (ואחרים) ניתן לראות כי מינים שונים מראים דפוסים ברורים לגבי התנהגותם בשטח הטבעי לעומת שדות החיטה או מטעי הזיתים.

לדוגמא, ניתן לראות את התנהגותה של *סטירית משוייישת* (*Melanargia titea*), המאפיינת אזורי בתות ובמיוחד בתות עשבוניים, בשדות החיטה (איור 8א). בשטח הטבעי (מרחק 0>) הפרפרים מראים את כל ההתנהגויות השונות, תוך עלייה מסוימת בשפיעה ונטייה גבוהה לנוח ולמצוץ צוף (Net/Total=0) באזור גבול השדה (מרחק = 0) (איור 8א). מיד לאחר כניסתם אל השדה (מרחק 0>) שפיעת הפרפרים יורדת באופן משמעותי, מהירות התעופה עולה ומרבית הפרפרים נוטים לעוף בקוים ישרים או כמעט ישרים (Net/Total קרוב ל- 1). לאחר כ- 50 מ' לא נראים עוד פרפרים בשטח החיטה. בשטחים טבעיים שמול מטעי הזיתים התנהגותם זהה (איור 8ב), אך עם כניסתם אל תוך המטע מתקבל דגם התנהגותי שונה. כאן

ניתן לראות שעל אף הירידה בשפעת הפרפרים, אין היעלמות מוחלטת של הפרפר אלא המשך ירידה בשפעה תוך עלייה הדרגתית בנטייה לעוף בקוים ישרים. דגם דומה לזה, שבו מהירות התעופה והנטייה למעוף ישר עולה באופן הדרגתי עם המרחק, נמצא למשל אצל *לבנין הכרוב*.

סטירית פקוחה (*Maniola telmessia*), פרפר המאפיין אזורים מוצלים או אזורי עשבוניים בקרבת חורש ויער, מהווה דוגמא לאותם מינים שבית גידולם העיקרי הוא דווקא מטעי הזיתים (שימו לב שלא נדגמו שטחי חורש). במקרה זה ניתן לראות שעיקר הפרפרים נמצאים במטעי הזיתים, שם נראות כל ההתנהגויות השונות כולל מנוחה תחת העצים (Net/Total = 0, איור 8ד). מאחר והפרפר אינו נמנע מלעוף בשטחי עשבוניים ניתן למוצאו גם בשטח הטבעי שמול מטע הזיתים, אך שפעתו יורדת בהדרגה עם המעבר לשטח הטבעי (מרחק 0>) ללא דגם ברור לגבי אופן המעוף. בשדות החיטה (איור 8ג) שפעת הפרפרים הכוללת נמוכה ביותר, כאשר 5 מתוך 8 פרפרים נראו בקרבת השוליים, 2 פרפרים בשטח הטבעי ורק פרפר אחד בשדה החיטה. הפרפרים שנצפו עפו באופן ישר למדי (Net/Total קרוב ל- 1), דפוס המצביע על התנהגות הפצה. הנקודה היחידה המציינת התנהגות מעוף אקראית נמצאת בשוליים.

לבנין התלתן (*Colias croceus*) מהווה דוגמא לפרפרים המאפיינים את אזור השוליים. ניתן לראות כי התנהגות הפרפרים משתנה באופן הדרגתי מן השטח הטבעי אל שולי שדות החיטה, תוך ירידת ערכי Net/Total distance – המציינת נטייה גוברת למעוף אקראי או טריטוריאלי וכן למנוחה (בשטח השוליים בלבד! איור 8ה). רק שני פרטים של *לבנין תלתן* נצפו בתוך שדה החיטה: האחד בסמוך לשדה ויצא ממנו מיד, והשני נצפה בעומק השדה כאשר המדד Net/Total=1 מצביע על התנהגות הפצה. במטעי הזיתים (איור 8ו) ניתן לראות כי הנטייה לבצע מעוף אקראי גוברת כבר בתוך השטח הטבעי, כך ששטח השוליים גדול יותר מאשר בשדות החיטה, או לפחות <u>מיקום</u> השוליים ברור פחות. עם הכניסה למטעי הזיתים נראית ירידה בשפעה, אולם בדומה לסטירית משוישת הדגם אינו ברור ומיידי. פרפרים נצפים גם בתוך השדה ותעופתם ישרה יותר ויותר ככל שהשטח מרוחק יותר מהשוליים. דגם דומה לזה נמצא אצל מינים כמו כחליל השברק, כחליל האשחר, כחליל מקושט והספריות שונות.

דגם נוסף שנצפה הוא התנהגות מעוף אקראית בלבד, כאשר התגובה ההתנהגותית התבטאה בשינויי שפעה בלבד. למשל, *כתום כנף המצילתיים* לא נכנס אל שדות החיטה אך מעופף במטעי הזיתים, ואילו *נימפית המדבר* ו*כחליל מנומר* נצפו אך ורק בשטחים הטבעיים.

השימוש במדדים כמותיים להתנהגות הפרפרים מאפשר לבחון את ממשק השדות השונים דרך "עיניהם" של הפרפרים. דרך כך, ניתן לראות למשל את ההבדל בין שדות חיטה הומוגניים לשדות הטרוגניים. בשדות הומוגניים, מרבית הפרפרים הנכנסים אל השדה (למשל, *לבנין הצנון*) משתמשים בו אך ורק כאזור מעבר – דבר המתבטא במעוף ישר המבטא הפצה (איור 9א). פרפרים הנכנסים אל שדה הטרוגני עושים זאת כדי להשתמש בו בין השאר כבית גידול, דבר המתבטא בכל סוגי המעוף (איור 9ב). דגם ההתנהגות של אותו מין במטעי הזיתים דומה מאוד לזה שבשדות החיטה. מכאן אפשר ללמוד שמטעי הזיתים נתפסים בעיני הפרפר כבית גידול הטרוגני. בכך, אנו מקבלים אימות של ההשערה כי חשיבותם של מטעי הזיתים הוא בכך שהם מספקים מגוון רחב יחסית של בתי גידול. עם זאת, יש לזכור כי, בשונה

משדות החיטה, מטעי הזיתים אינם רק הטרוגניים אלא הם מספקים בתי גידול מוצלים שחלקם אינו נמצא אלא בין הזיתים. הבדל זה מסביר את קיומם של מינים ייחודיים ולעתים נדירים בתוך הזיתים, מול היעדרם של מינים ייחודיים או נדירים בתוך שדות החיטה (כולל שדות הטרוגניים!).

סיכום ומסקנות

חיטה

המחקר מראה כי שדות חיטה מהווים בית גידול עוין לרוב מיני הפרפרים, למעט מספר מצומצם של מינים שכולם מאפיינים בתי גידול מופרעים או "אנושיים". עם זאת יש לציין שבדרום הארץ, שם עיקר שדות החיטה הם אקסטנסיביים (חריש רדוד, ללא ריסוס או דישון), מגוון הפרפרים שנצפה בשדה החיטה דמה לזה שבשטח הסמוך לו, ונראה שהשפעת השדות על סביבתם יכולה להיות אפילו השפעה חיובית. לצערנו, מאחר וכמויות המשקעים השנה היו נמוכות במיוחד, מספר הפרפרים שנצפו באזורים אלה היה קטן מכדי לבצע ניתוח נתונים שיטתי בכיוון זה. על כן, המחקר מצביע על החשיבות של בחינת שדות הטרוגניים מול הומוגניים עבור שימור המגוון הביולוגי, במיוחד בדרום הארץ.

זיתים

על אף שמגוון הפרפרים בתוך מטעי הזיתים היה נמוך מזה שמחוצה להם, ברור כי מטעי הזיתים סיפקו בית גידול ייחודי שבו מתקיימים מיני פרפרים רבים. במיוחד, מטעים שעובדו באופן מסורתי (ללא ריסוס) הראו עושר מינים גדול במיוחד, כולל מינים שיש חשיבות לשימורם. חלק מהסיבות לעושר המינים היו קיומם של כתמי שטח טבעי בתוך המטעים (עקב תלילות השטח או אבניותו), אולם עושר הפרפרים לא נבע רק מקיומם של אלו אלא נראה שנובע מעצם טיבם של המטעים כבית גידול הטרוגני. חשוב לציין כי המטעים שנבחנו בדרום הארץ לא היוו "נווה מדבר" עבור הפרפרים, על אף העובדה שמטעים אלה נמצאים תחת השקיה. הסיבה לכך היא משטר הריסוסים הנרחב של מטעים אלה, שאינו מאפשר קיומם של פרפרים רבים. עוד נציין כי נראה שמגוון המינים הגבוה ביותר נמצא במקומות שבהם מבוצע חריש אחת לשנה או יותר, לעומת מקומות שבהם לא מבוצע כל חריש או מקומות שבהם מבוצע עישוב וחריש באופן תדיר. אי לכך, המחקר מצביע על כך שמטעי זיתים עשויים להוות אזור בעל חשיבות מכרעת בשמירה על המגוון הביולוגי, אולם יש צורך לקבוע נהלי ממשק שיאפשרו את קיומם של מגוון מינים רחב ככל האפשר. בשלב זה, אנו ממליצים: א. לעודד חקלאות זיתים מסורתית; ב. להימנע מריסוסים בין ינואר ליוני (כדי לאפשר לא רק את פעילותם של חרקים אלא גם את התפתחותם), ו- ג. להותיר כתמים ללא חריש לפחות בחלק מן השטח.

במהלך עבודתנו בשדה, ביצענו סקרים בין החקלאים לגבי אופן ניהול השטח החקלאי שברשותם. באמצעות סקרים אלה, אנו מבצעים בימים אלה ניתוח מעמיק יותר של השפעת הממשק על מגוון המינים. מסקנות ניתוח זה יועברו לידי הקרן עם סיומם.

אזורי המעבר

ללא ספק, אזורי המעבר בין השטח הטבעי והחקלאי הינם אזור בעל חשיבות מכרעת בשמור מגוון המינים. בנוסף לחשיבות הפוטנציאלית של שטחי שוליים כ- stepping-stone עבור מינים שונים בעוברם בין בתי גידול טבעיים, מחקר זה מראה כי אזורי השוליים אינו רק מקום מפגש בין השטח הטבעי והחקלאי: זהו בית גידול ייחודי וחשוב שחלק מהפרפרים נצפה רק לאורכו. נציין כי מגוון הפרפרים שנצפה בשוליים היה גבוה במיוחד כאשר השוליים היו רחבים, כאשר רוחב אזור השוליים השפיע גם על אופן התעופה של הפרפרים: רוחב שוליים של 15 מ' או יותר (החל מקו החריש ועד לשטח ללא כל הפרעה, בד"כ מעבר לגדר) יצר דגם התנהגות שבו הפרפרים מעופפים "בתוך" שטח השוליים ולא "לאורכו". מכאן, אנו ממליצים על השארת שוליים רחבים בין שטחי שדות, שבהם יוכל להתקיים מגוון מינים רחב בצד האדם. עם זאת, ברור שאין תחליף לשימורם של אזורים טבעיים רחבים בנוסף לשטחי השוליים, שכן ברור שקיימים מינים המאפיינים בתי גידול "טבעיים" (או יחסית בלתי-מופרעים) ושאינם נצפים כלל בשולי השדות או בתוכם (למשל במחקר זה: *כחליל מנומר*, *נימפית המדבר*, *כחליל האזוב*).

יערות קק"ל

יערות אורן צפופים נמצאו עניים ביותר במינים. יער האורן היחיד שבו נמצא עושר מינים גבוה יחסית היה סמוך ליישוב חנתון שבגליל התחתון. שם, המרחק בין עצים היה גדול ונמצאו מספר כתמים בלתי מיוערים שבהם מגוון הצמחים היה רחב. בשאר האתרים, מרבית הפרפרים נמצאו באזורי השוליים, ועושר המינים נקבע ע"י רוחבו של אזור זה. כלומר, בהינתן העוני הן של שדות החיטה והן של מטעי האורן, לרוב לא היה "מקור" שממנו יכלו פרפרים להגיע אל אזור השוליים, אלא אם הוא עצמו היה רחב מספיק. לאור מצב זה, ולאור מגוון המינים הרחב בשטחים פתוחים, אנו ממליצים על נטיעה דלילה של עצים תוך השארת כתמים בלתי מיוערים רחבים ככל האפשר, הן בשולי היער והן בתוכו. במיוחד, אנו ממליצים על השארת מרחב של 15 מ' לפחות בין שטח הממשק של הקק"ל לבין תחילת השטח המיוער, כאמצעי לשמור על המינים המאפיינים שטחים פתוחים ושטחי שוליים בלבד.

חשיבות המרכיב ההתנהגותי

התנהגות התנועה של המינים השונים מהווה אמצעי ללמוד על השתנות מגוון המינים בין שטחים שונים. נתוני ההתנהגות שבידנו מצביעים על כך שחברת הפרפרים משתנה באופן הדרגתי בין מטעי זיתים לבין סביבתם, ואף לתוך מטעי הזיתים. מכאן שגודל המטע מהווה נקודה קריטית בבואנו לנבא מה יהיה מגוון המינים במטע נתון ומה תהיה השפעתו על סביבתו. לעומת זאת, חברת הפרפרים בשטחי שדות חיטה אינה משתנה לאורך גרדיאנט המרחק, וניתן לנבא את מגוון המינים בתוך שטח השדה מבלי להתייחס לגודל השטח.

יתרון האיסוף של המרכיב ההתנהגותי הינו בכך שהוא מאפשר לנו להעריך את הערכיות האמיתית של השטח עבור מינים שונים (בעיקר, האם אתר נתון הוא בית גידול או אזור מעבר בלבד). למשל, בהסתמך על המידע ההתנהגותי, ניתן לבחון מתי שטח השוליים רחב מספיק כדי להוות בית גידול ייחודי

שהפרפרים יכולים לנוע בתוכו ולא רק לאורכו. ניתוח המידע כפי שבוצע עד עתה מצביע על רוחב של כ-15 מ', אולם בכוונתנו להרחיב את הניתוח ולבצעו עבור מגוון רחב יחסית של מינים.

המדדים הכמותיים להתנהגות המינים השונים מאפשרים לאפיין את המינים השונים שנצפו לא רק על פי דרישות בית הגידול שלהם אלא גם אל פי התנהגותם. לאחר שנסיים את ניתוח האנליזות ההתנהגותיות, יהיה בידנו כלי להגדרת קבוצות מינים (תת-חברות, או "גילדות") המגיבים לסביבה באופן דומה. בכך, מחקר זה מניח את היסוד לצורה חדשה של עבודה, שבה ההתנהגות מאפשרת לנבא, באופן כמותי, את התגובה של מינים לסביבות שונות (או לשינויים סביבתיים). במיוחד, שיטת איסוף הנתונים מאפשרת, לראשונה בעולם, לדעת את הנטייה של מינים רבים לצאת החוצה מבית גידולם ולבצע הפצה, בהינתן המאפיינים של גבול בית הגידול. בכך, ניתן יהיה לשפר באופן משמעותי את יכולתנו לנבא את מגוון המינים במגוון רחב של סביבות.

סיכום והמלצות להמשך

המושג "שדות חקלאיים" כולל בתוכו מגוון אזורים וגידולים רחב, בצורות ממשק שונות ובארגון מרחבי מורכב - שדות, מטעים ושטחי מרעה, תחת חקלאות אורגנית או סטנדרטית; שדות מושקים ובלתי מושקים; שדות קטנים בבעלות משפחתית (למשל במושבים) לעומת שטחי חקלאות קיבוצית; חקלאות מסורתית מול מודרנית ועוד. מחקר זה מדגיש את העובדה שלא ניתן להכליל על "מגוון ביולוגי באזורים חקלאיים", מאחר וקיימת חשיבות מכרעת לסוג הגידול, לאופי הממשק ולרקע האקלימי שבו נמצאים השדות השונים. הממצאים במחקר זה מראים כי גידולי חיטה, ובמיוחד "מונוקולטורה" של ממשק ממוכן, אינם מותירים מקום לקיומם של מרבית מיני הפרפרים ומתבטאים גם בתגובה התנהגותית חזקה של מרבית מיני הפרפרים (הימנעות מוחלטת). לעומתם, מטעי זיתים, ובמיוחד מטעים מסורתיים, מספקים בית גידול הטרוגני שבו מתקיים מגון רחב של מיני פרפרים, כולל מינים בעלי חשיבות בשמירת טבע. אי לכך, אנו ממליצים על שימור החקלאות המסורתית בישראל, ובמיוחד על חקלאות הזיתים. נמצא גם כי אזור המעבר תרם תרומה משמעותית למגוון המינים, ועל כן ישנה חשיבות מיוחדת לשמירת שטחי שוליים רחבים ככל האפשר, תוך המעטה בריסוס באזורים אלה.

מחקר זה מהווה אבן דרך חשובה לביצוע מחקרים שיטתיים שיאפיינו את מגוון המינים בשדות חקלאיים שונים ותחת ממשקים שונים. ברור כי קיים צורך להרחיב את המחקר אל גידולים שונים וצורות ממשק שונות. בנוסף לכך, מחקר מקדים שבוצע בשנה זו באזור בית גוברין מצביע על כך שלגודל השדה וגודל השטח הטבעי ישנה השפעה מכרעת על התנהגות הפרפרים בהגיעם למפגש שבין שני בתי הגידול השונים. על כן, גודל השדות וארגונם המרחבי יהוו נושא מרכזי שאותו בכוונתנו לבחון כבר בעתיד הקרוב. כמו כן, בכוונתנו ליישם את שיטות המחקר שהוצגו כאן גם במערכות אקולוגיות אחרות ובאזורים אחרים בעולם.

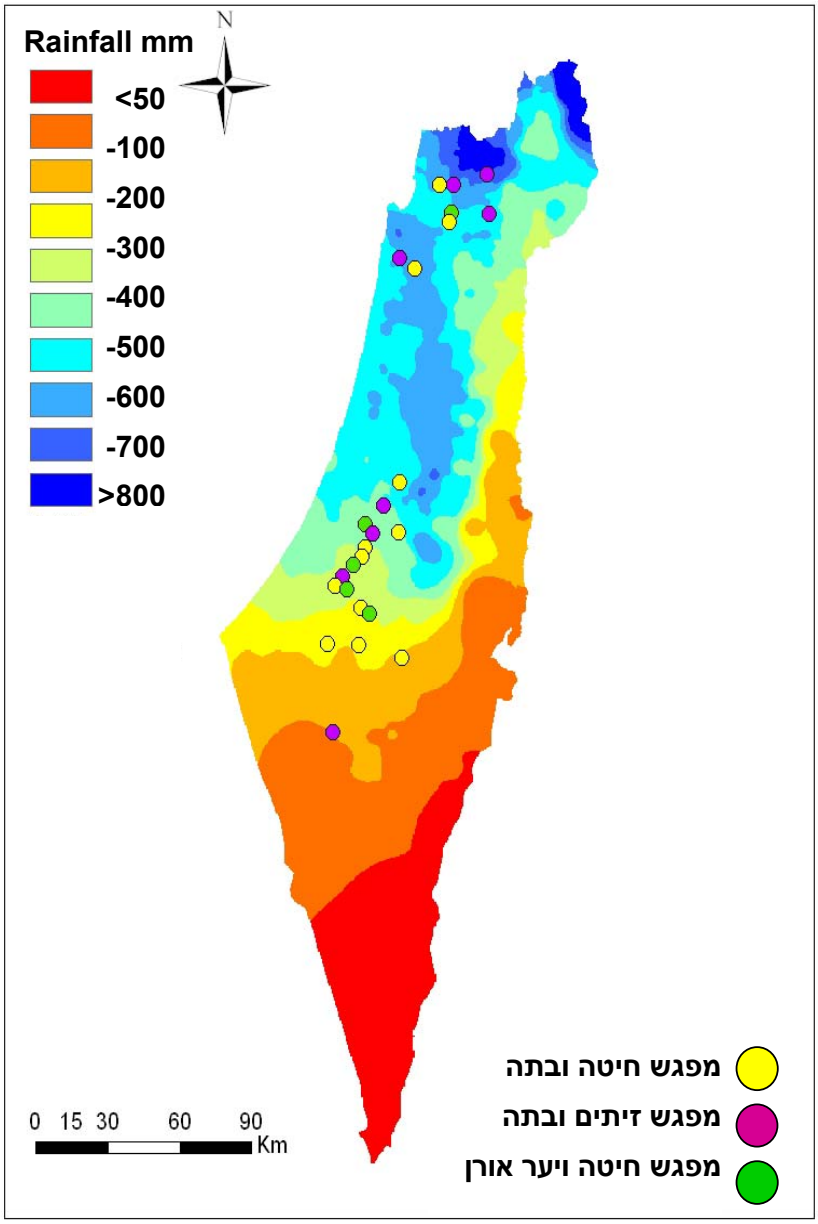
המחקר הוצג בכנס בינלאומי מרכזי העוסק בשמירת טבע וזכה לתגובות נלהבות בקרב הקהל The 1st European Conference of Conservation Biology ECCB, Eger, Hungary, 22-26/8/2006). בכוונתנו להמשיך לדון בשיטות המחקר ובתוצאותיו בקרב הקהל בישראל ובעולם, כדי לקדם את שמירת הטבע בכלל ואת הגנת הפרפרים בפרט. כמו כן, מאחר ושמירת טבע אינה יכולה להתבצע ללא שיתוף הציבור, אנו מתכוונים להרחיב את השימוש בשאלונים בקרב החקלאים ולבסס את הקשר שבין אופי הממשק לבין מגוון המינים.

בקרוב, אנו מקווים כי 14 מיני פרפרים יוכרזו כערכי טבע מוגנים בישראל. אנו רואים מחקר זה ואחרים כאמצעי לתרום להגנתם של מינים אלה, דרך ביסוס ממשק בר-קיימא של שדות חקלאיים המאפשר את קיומם של המינים הנדירים בצד האדם.

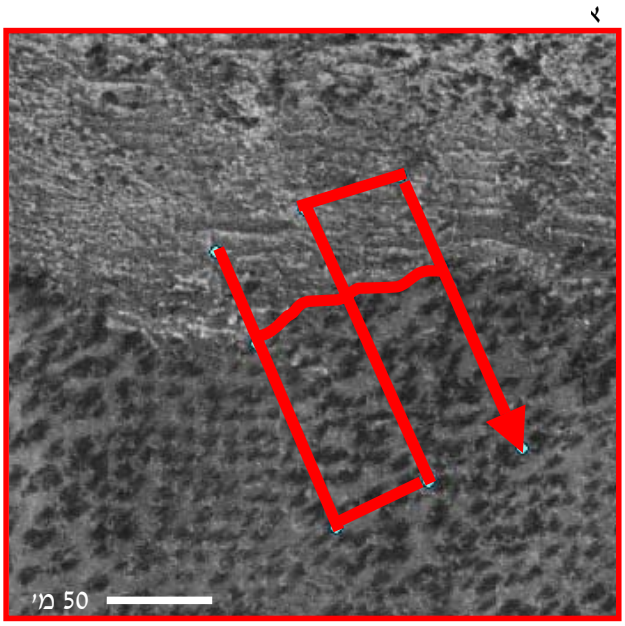
תודות

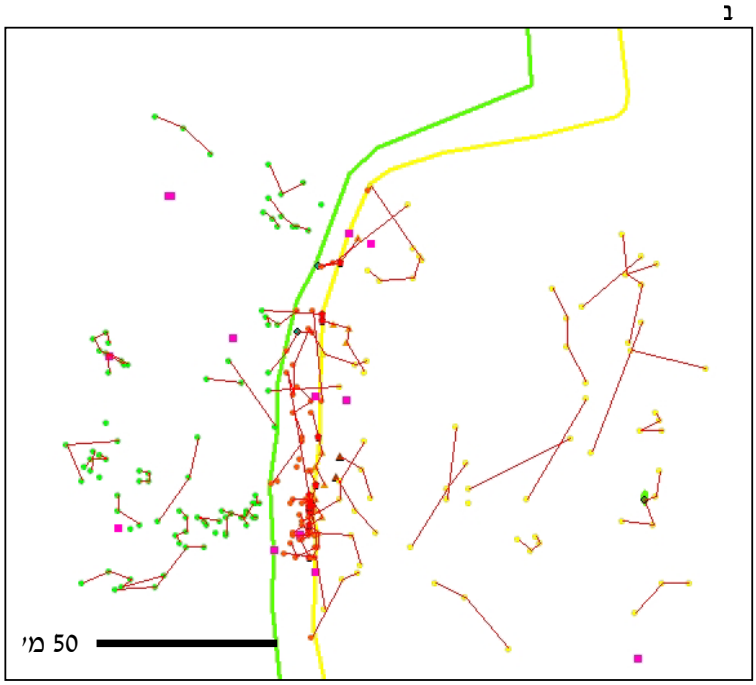
אנו מודים מקרב לב לקתרין ואן מאנן, שעזרה רבות בעבודת השדה בשתי שנות המחקר. כמו כן סייעו בעבודת השדה: אלי אילן, אפרת קרן, עוז ריטנר, ישראל פאר, עודד לבנוני ורן גלוזמן. עדי בן-נון, נעם לוין ורועי פדרמן סייעו במיפוי השדות ובניתוח הנתונים באמצעות כלי GIS. תודתנו לקרן נקודת ח"ן יד הנדיב על שאיפשרה את ביצוע המחקר. קרן ריימונד וג'נין בולאג סיפקה מלגת קיום כפוסט-דוקטורט עבור ד"ר גיא פאר במעבדה לחקר המגוון הביולוגי בראשות ד"ר סלעית קרק. תצלומי אוויר (אורטופוטו) התקבלו באדיבות הקק"ל. אנו מודים לחקלאים על שהסכימו שנעבוד בשדות וכן על מילוי השאלונים שבאמצעותם ביססנו את הידע על ממשק השדות השונים.

איור 1: מפת משקעים של אזור המחקר ואתרי הדיגום שנבחרו: צהוב - שדות חיטה; סגול - מטעי זיתים; ירוק – יערות אורן של הקק"ל.

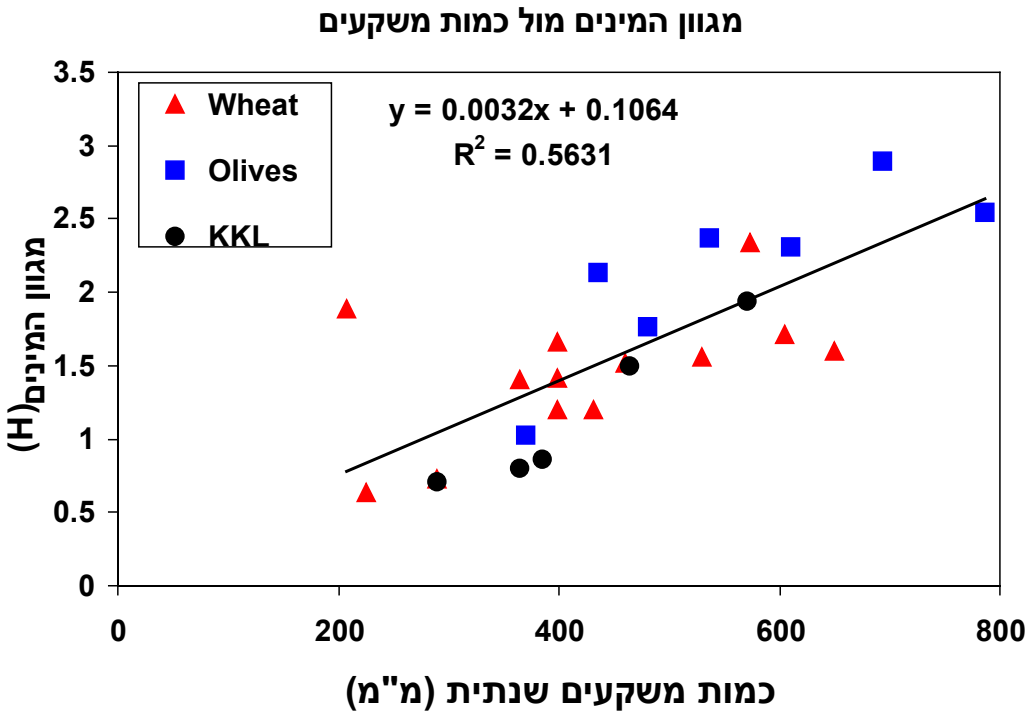


איור 2:א - דוגמא לחתך דיגום כפי שנקבע במטע זיתים בצפון הארץ (ליד היישוב שעב שבגליל).
ב – דוגמא לתוצאת הדיגום בשדה חיטה בקרבת רמת מנשה: נקודות ה- GPS צבועות על-פי מיקומן ביחס לשדה (צהוב- בתוך השדה; כתום – אזור השוליים; ירוק – שטח טבעי), הקוים הסגולים מציינים את מסלולי התעופה של כל הפרפרים באותו שדה. הקו הצהוב מציין את גבול השדה, הקו הירוק מציין את תחילת השטח הטבעי.

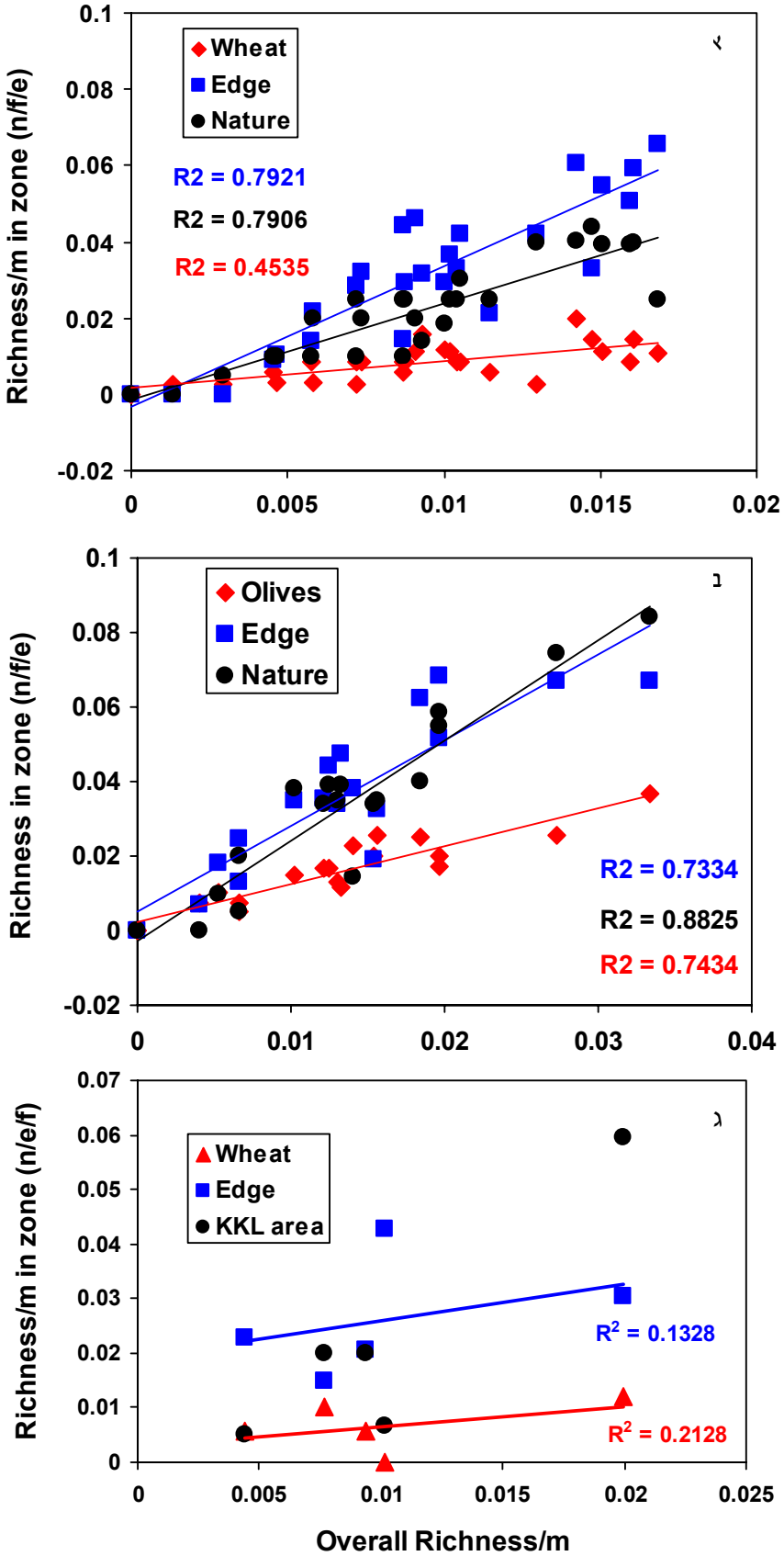




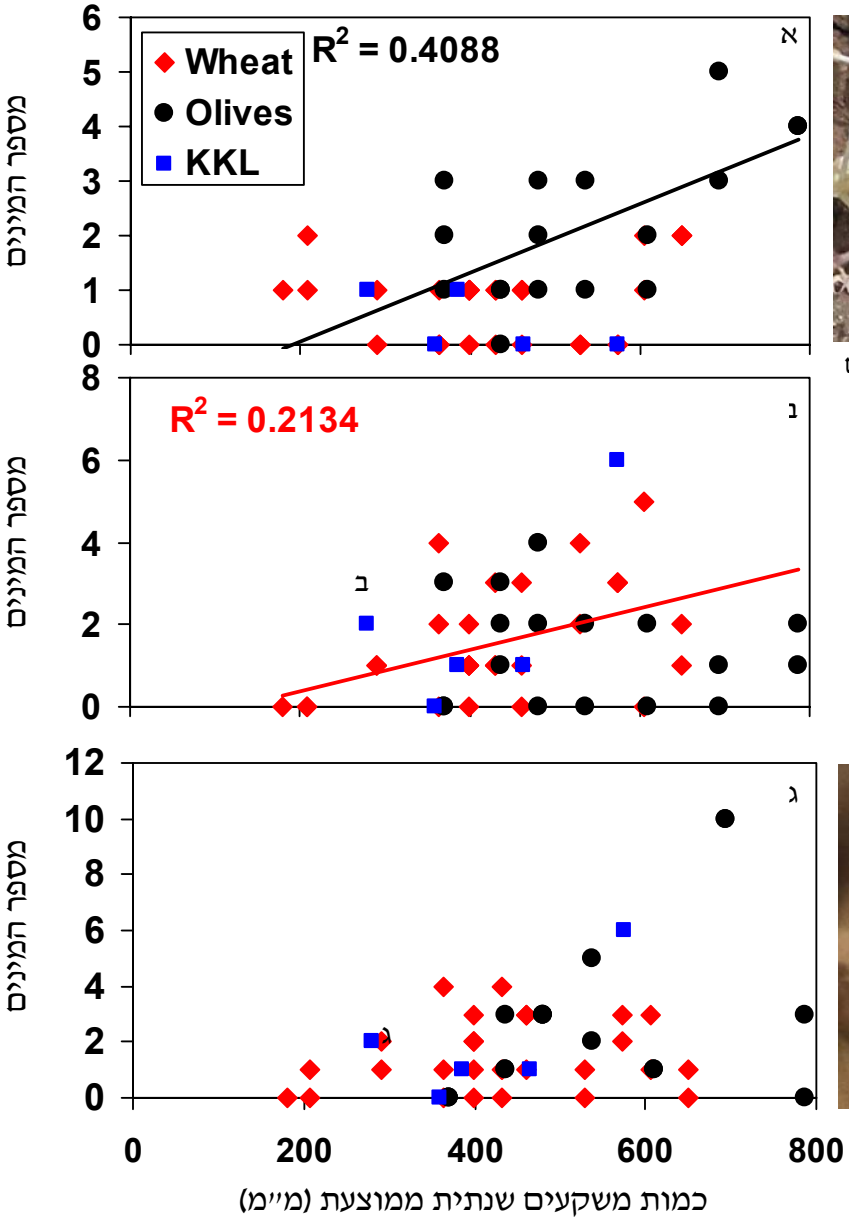
איור 3: מגוון המינים (מדד שנון, H) מול כמות המשקעים השנתית בשדות חיטה מול בתה (משולשים אדומים), זיתים מול בתה (מרובעים כחולים) וחיטה מול יערות קק"ל (עיגולים שחורים).



איור 4: עושר המינים בכל אחד מהאזורים – שדה, שוליים או שטח טבעי (מחולק במרחק הדיגום שבוצע בכל אחד מהשטחים), מול כלל עושר המינים שנצפו באתר. א – בשטחי חיטה מול בתה; ב – במטעי זיתים מול בתה; ג – בשטחי חיטה מול יערות קק"ל. (מספר נקודות המידע גדול ממספר השדות בשל ביצוע 2-3 ביקורים בכל שדה)



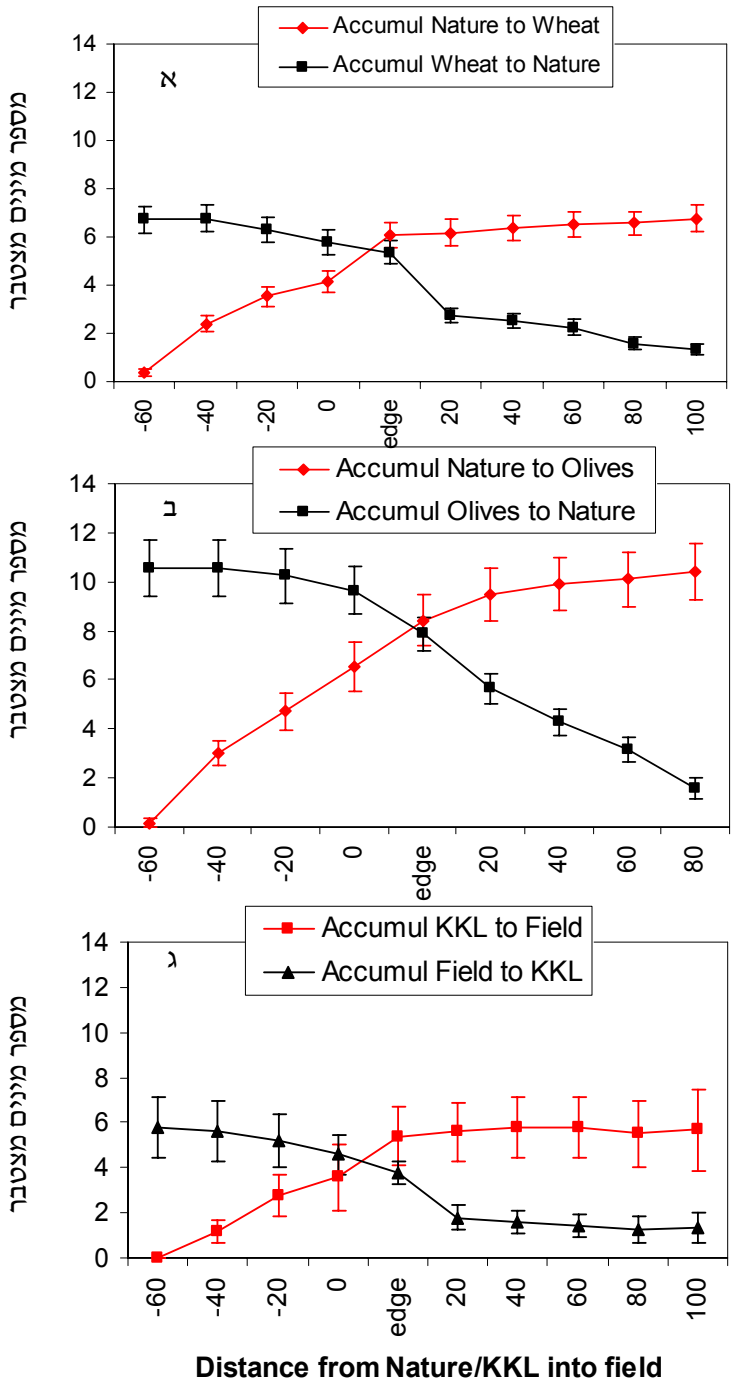
איור 5: מספר המינים שנמצאו באזור אחד בלבד - השדה (או המטע) (א), שטח השוליים (ב) או השטח הטבעי (או יער הקק"ל) (ג) ולא נמצאו בשני האזורים האחרים – מול כמות המשקעים השנתית באזור.



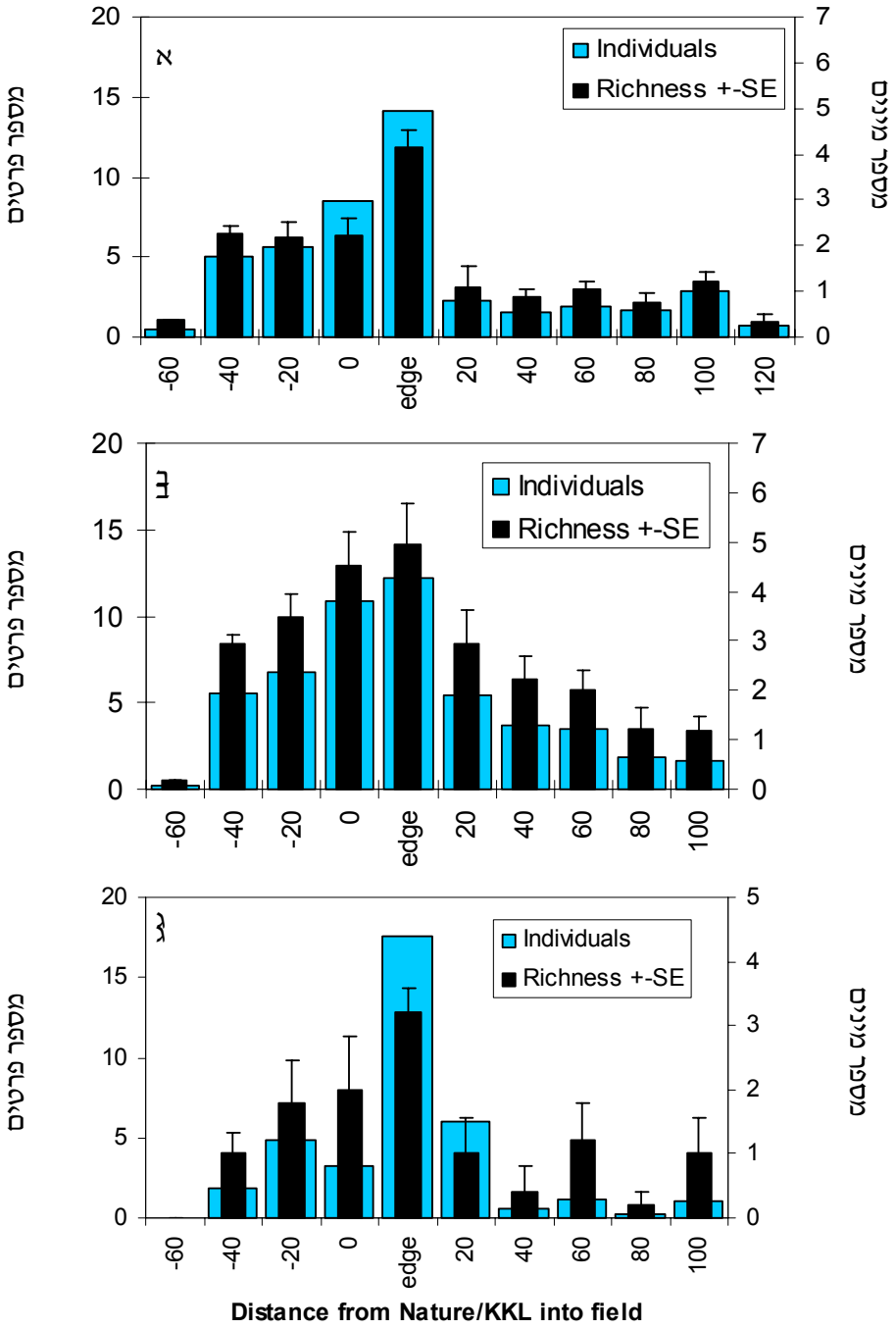
צבעוני קשוט, מין המופיע בחורש הים תיכוני בגליל העליון המערבי ובכרמל בלבד. צולם במטע זיתים בכרמל.

כחליל מנומר,מופיע בבתות ובגריגה באזורים ים תיכוניים. נצפה בשטחים

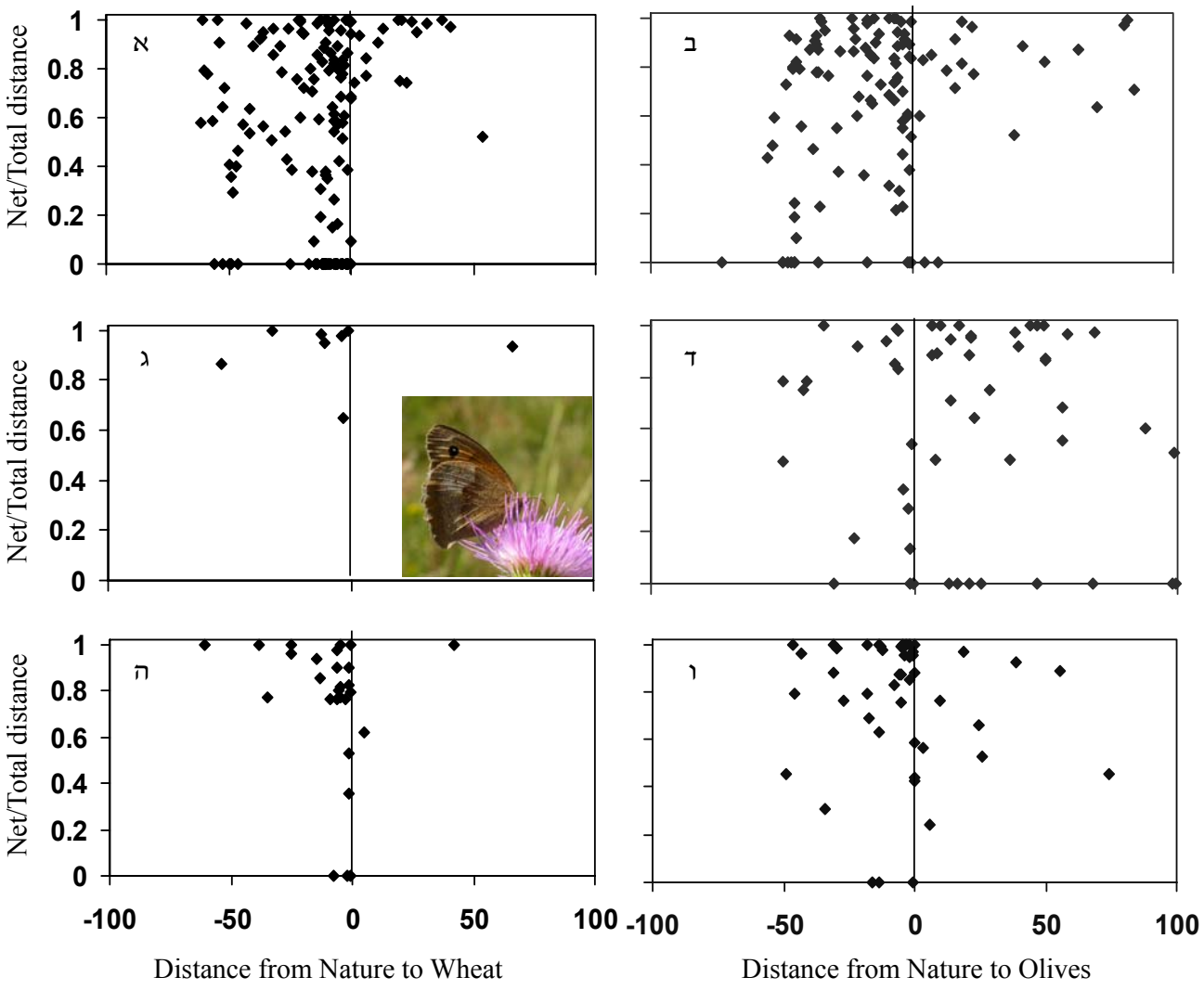
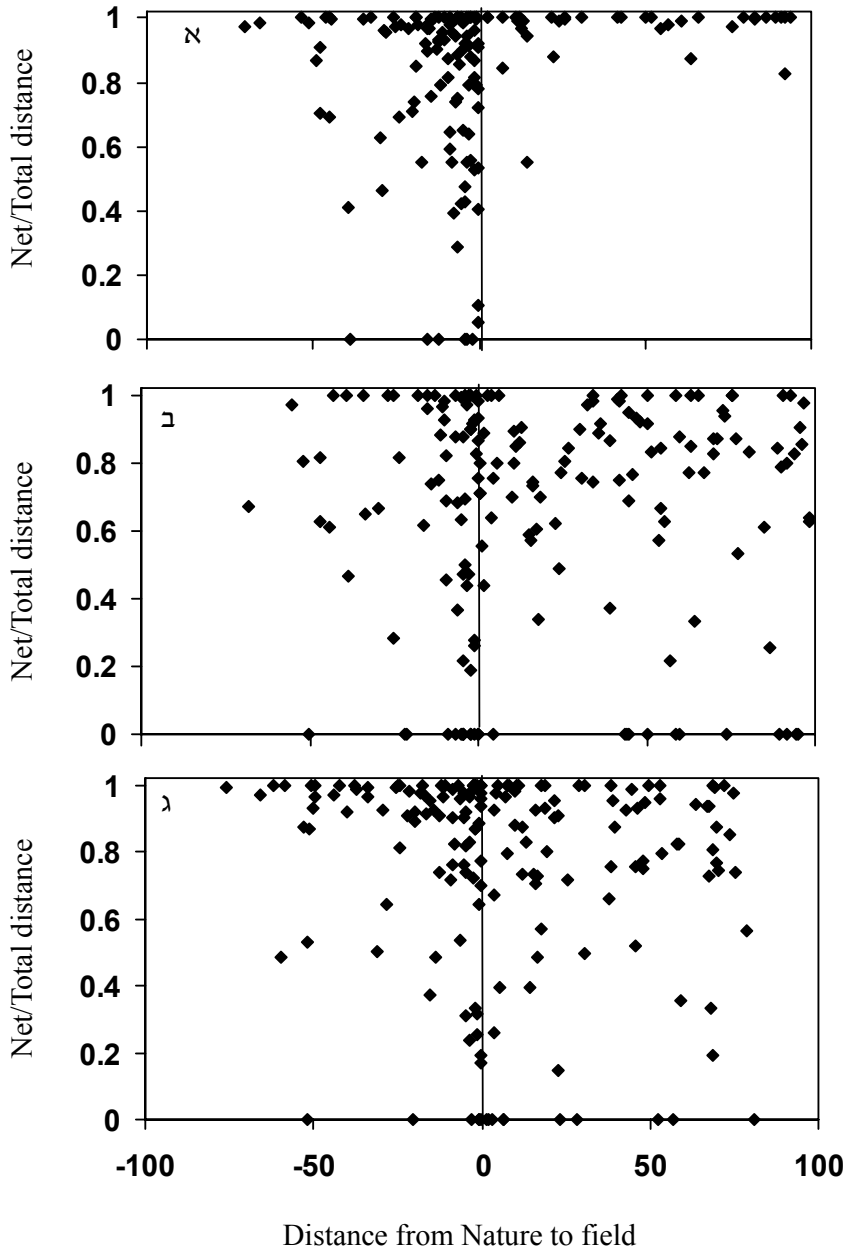
איור 6: ממוצע המינים שהצטברו עד למרחק נתון בחתך המתחיל מהשטח הטבעי אל תוך השדה (באדום) או מתוך שטח השדה אל השטח הטבעי (בשחור) (±SE), בשטחי חיטה מול בתה (א), זיתים מול בתה (ב) וחיטה מול יערות קק"ל (ג). ערכים שליליים מציינים שטח טבעי, ערכים חיוביים מציינים את שטח השדה במרחק הולך ועולה מגבול השדה. הערך המצויין מסמן גבול עליון של תחום ערכים בן 20 מ' (למשל, 100 עד 120 מ' מצויין ע"י 120)



איור 7: מספר הפרטים הממוצע שנצפה בשדות השונים (תכלת) ומספר המינים הממוצע (±SE) בשדות השונים (שחור) לאורך גרדיאנט המרחק מהשטח הטבעי או יער הקק"ל אל השדה, בשטחי חיטה מול בתה (א), זיתים מול בתה (ב) וחיטה מול יערות קק"ל (ג). ערכים שליליים מציינים שטח טבעי, ערכים חיוביים מציינים את שטח השדה במרחק הולך ועולה מגבול השדה. הערך המצוין מסמן גבול עליון של תחום ערכים בן 20 מ' (למשל, 100 עד 120 מ' מצוין ע"י 120)



איור 8: התנהגות התעופה לאורך גרדיאנט המרחק מהשטח הטבעי (ערכים שליליים) אל שטח השדה או מטע הזיתים (ערכים חיוביים), כפי שמבוטאת ע"י היחס בין המרחק מנקודת ההתחלה לסיום המעוף מול כלל מרחק התעופה שעבר הפרפר. מובאים שלושה מינים: סטירית משוישת בחיטה (א) ובזיתים (ב), סטירית פקוחה בחיטה (ג) ובזיתים (ד) ולבנין התלתן בחיטה (ה) ובזיתים (ו). כל נקודה מציינת פרפר, כך שמספר הנקודות מהווה מדד לשפיעה. ערכים גבוהים מסמנים התנהגות הפצה (מעוף ישר). ערכים נמוכים מציינים מנוחה, מציצת צוף או התנהגות טריטוריאלית.



איור 9: התנהגות התעופה של הפרפר לבנין הצנון לאורך גרדיאנט המרחק מהשטח הטבעי (ערכים שליליים) אל שטח השדה או מטע הזיתים (ערכים חיוביים), כפי שמבוטאת ע"י היחס בין המרחק מנקודת ההתחלה לסיום המעוף מול כלל מרחק התעופה שעבר הפרפר. א – התנהגות ב- 9 שדות חיטה הומוגניים. ב – התנהגות ב- 4 שדות הטרוגניים (שבתוכם נמצאו כתמי שטח טבעי, או עיבודם אקסטנסיבי). ג – התנהגות במטעי זיתים. כל נקודה מציינת פרפר.