ספרית הטכניון
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

The Technion Library
Technion - Israel Institute of Technology

©
All rights reserved

This work, in whole or in part, may not be copied (in any media), printed, translated, stored in a retrieval system, transmitted via the internet or other electronic means, except for "fair use" of brief quotations for academic instruction, criticism, or research purposes only.
Commercial use of this material is completely prohibited.

©
כל הזכויות שמורות

אין להעתיק (במדיה כלשהי), להדפיס, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, להפיץ באינטרנט, חיבור זה או כל חלק ממנו, למעט שימוש הוגן בקטעים קצרים מן החיבור למטרות לימוד, הוראה, ביקורת או מחקר.
שימוש מסחרי בחומר הכלול בחיבור זה אסור בהחלט.

היבטים אקולוגיים של אוכלוסיית האירוס בשמורת האירוס הנצרתי למטרת בניית ממשק שמורה

בשמת סגל

היבטים אקולוגיים של אוכלוסיית האירוס בשמורת האירוס הנצרתי למטרת בניית ממשק שמורה

חיבור על מחקר

מוגש לשם מילוי חלקי של הדרישות לקבלת תואר מגיסטר
למדעים במדעי ההנדסה החקלאית

בשמת סגל

הוגש לסנט הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
טבת התשס"ז חיפה דצמבר 2006

המחקר נעשה בהנחיית ד"ר יוחאי כרמל מהפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית.

אני מודה לטכניון על התמיכה הכספית הנדיבה בהשתלמותי.

תודות אישיות:

למנחה שלי, ד"ר יוחאי כרמל.

לרשות הטבע והגנים, על מימון המחקר, התמיכה המדעית והטכנית -מוטי דולב, דידי קפלן ויפתח סיני.

לד"ר גלעד אבן צור על התמיכה הטכנית וציוד המיפוי.

לרם זיידנברג על העצות הטובות.

לד"ר יובל ספיר על העזרה בנושא האבקה.

תודה מיוחדת להורי שבזכותם אני אוהבת פרחים.

תוכן עניינים

תקציר 1

1. מבוא..... 3

1.1 האירוס הנצרתי..... 3

1.2 שמורת האירוס הנצרתי..... 4

1.3 שימור מינים נדירים..... 5

1.4 הפרעה אקולוגיות וממשק מתערב..... 6

1.5 השערות ומטרות המחקר..... 7

2. שינויים בתצורות הצומח בשמורה העשורים האחרונים..... 7

2.1 מבוא. 7

2.2 שיטות..... 8

2.3 תוצאות..... 9

2.4 מסקנות..... 14

3. השפעת הסירה על האירוס..... 14

3.1 מבוא..... 14

3.2 ניתוח חתכים אופייניים..... 14

3.2.1 שיטות..... 15

3.2.2 תוצאות..... 16

3.2.3 מסקנות ודיון..... 16

3.3 השפעת התחרות על אפיונים מורפולוגיים של האירוס..... 16

3.3.1 מבוא..... 16

3.3.2 שיטות..... 17

3.3.3 תוצאות..... 18

3.3.4 מסקנות..... 20

4. בחינת חלופות ממשק לשמורה..... 20

4.1 מבוא..... 20

4.2 תיאור הניסויים..... 22

4.2.1 תיאור הטיפולים..... 22

4.2.3 מיפוי האירוסים בחלקות..... 23

4.3 בחינת השינויים במספרי צמחים בחלקות..... 25

4.3.1 מבוא..... 25

4.3.2 שיטות..... 26

4.3.3 תוצאות..... 27

4.3.4 דיון.....29
4.4 בחינת שינויים בדפוס הפריחה בחלקות.....29
4.4.1 מבוא.....29
4.4.2 שיטות.....29
4.4.3 תוצאות.....30
4.4.4 דיון.....32
5. חקר הרבייה המינית של האירוס.....33
5.1 מבוא.....33
5.2 מבנה הפרח ומנגנון האבקה.....34
5.3 אזור הניסוי.....35
5.4 שיטות.....36
5.5 תוצאות.....37
5.6 מסקנות ודיון.....40
6. מסקנות והמלצות ממשק.....42
6.1 התפשטות הסירה הקוצנית בשמורה והשפעתה על האירוס.....42
6.2 חלופות ממשק אקטיבי.....42
6.3 תכנון וביצוע הניסויים.....42
6.4 רבייה מינית.....43
7. נספחים.....44
7.1 מבחנים סטטיסטיים.....44
7.1.1 מבחן בינומי.....44
7.1.2 מבחן Mann-Whitney.....44
7.1.3 המבחן המדויק של Fisher.....45
7.2 טבלאות נוספות.....46
8. מקורות ספרות.....47

רשימת איורים

1. תפוצת האירוס הנצרתי בישראל.....4
2. שמורת האירוס הנצרתי וסביבותיה.....5
3. תצלום משנת 2002 המציין את שטחי A ו-B.....8
4. תצלומי האוויר משנים שונות של שטח השמורה. השטח שעבר דיגיטציה של כיסוי הסירה מוקף בכחול. כתמי הסירה מוקפים באדום. (א) תצלום משנת 1960, (ב) תצלום משנת 1990, (ג) תצלום משנת 2002.....13
5. מיקום חתכי הצומח.....16
6. פרמטרים פיזיולוגיים שנמדדו בצמחי האירוס.....19
7. יחס אורך לרוחב עלה כפונקציה של גובה הסירה הקוצנית.....20
8. מיקום חלקות המחקר בשטח השמורה על פי הטיפולים השונים. ביקורת עשבייה באדום, השמדת זחלים בשחור, דיכוי עשבוניים בכחול, ביקורת סירה בכתום, גיזום סירה בורוד, ושריפת סירה בטורקיז.....22
9. ציור סכמטי של מערכת המיפוי הלוויני.....25
10. חלקה עם נתוני מיפוי האירוסים משלוש עונות המיפוי, מיקומי הצמחים מיוצגים על ידי עיגולים בצבע שונה לכל עונה. העיגולים בפינות החלקה מסמנים את יתדות הברזל המשמשות לסימונה..26
11. הדגמת מושג אתר הפריחה וסיווגי הצלחה וכישלון בחלקה סכמטית.....32
12. (א) צלום פרח האירוס נצרתי וציון חלקיו העיקריים. (ב) איור סכמטי של יחידת האבקה.....37
13. אוכלוסיות שמורת האירוס הנצרתי (NIR) והר יונה (MTY).....38

רשימת טבלאות

1. מיון טיפוסי הנדירות של מינים בטבע לפי תחום גיאוגרפי, ספציפיות לבית גידול וגודל האוכלוסייה המקומית (לפי Rabinowitz 1981).....6
2. אחוז כיסוי הסירה הקוצנית בשטח הנבדק.....10
3. התפלגות צמחי האירוס ביחס לסירה הקוצנית.....16
4. סיכום הפרמטרים המורפולוגיים שנמדדו באירוסים בתוך ומחוץ לכסוי הסירה.....19
5. סיכום הפרמטרים שנמדדו באירוסים בחלקות הביקורת (עם כסוי עשבוניים) ובחלקות הטיפול בעשבוניים.....20
6. מספרי הצמחים בחלקות בשלוש עונות המחקר.....29
7. המובהקות הסטטיסטית לשינויים במספרי הצמחים בחלקות.....29
8. סך כל מספרי הפרחים בחלקות הביקורת לעומת חלקות הטיפולים בסירה הקוצנית בשנים 2002, 2003, 2004 ו-2006 34
9. שיעור ההצלחות (ראה הגדרה בגוף התיזה) בקבוצות אתרי הפריחה השונות.....34
10. מיון קבוצות אתרי הפריחה למדגמי ניסוי וביקורת בשלושה מבחנים סטטיסטיים שונים, וערכי המובהקות התואמים 32
11. גודל המדגמים, מספר החנטות, מספרי אי החנטות (בסוגריים מספר ההפלות) ושיעורי החנטה בטיפולים השונים.....41
12. תוצאות המבחנים הסטטיסטיים להשוואת שיעורי החנטה ומדגמי מספרי הזרעים.....42
13. מספרי הזרעים בכל אחד מהפירות בטיפולים השונים.....43
14. מספרי הביציות בפרחים וניצנים שבורים.....43
15. מספרי פרחים בעונות מחקר שונות בחלקות בהן נבדקה השפעת הסירה על האירוס.....49

תקציר

האירוס הנצרתי הוא מין נדיר המתקיים רק במספר אוכלוסיות קטנות ומקוטעות בצפון ישראל וירדן. האירוס שייך לסקציית אירוסי ההיכל במשפחת האירוסיים: *Iris* (Siems.) Baker *Oncocyclus* (Iridaceae). לצמח ריבוי וגטטיבי על ידי שלוחות קנה שורש ובצורה מינית באמצעות פרחיו. מחקר זה נערך עקב חששות בדבר ירידה מתמשכת באוכלוסיית האירוס בשמורה המיועדת להגן על המין (שמורת האירוס הנצרתי). המחקר סקר גורמי תחרות אפשריים לאוכלוסיית האירוס הנצרתי בשמורה ובחן אפשרויות ממשק שונות לאישושה. שמורת האירוס הנצרתי משתרעת על פני 130 דונם על המדרונות המזרחיים של הרי נצרת. השמורה הוכרזה בשנת 1963 לאחר תקופה בה שימש לחקלאות מסורתית ורעיה אינטנסיבית. מניתוח של תצלומי אוויר של השמורה משנת הכרזתה ועד היום, עלה שהכיסוי המעוצה המועט (בעיקר של סירה קוצנית, *Sarcopoterium spinosum*) בשטח החקלאי לשעבר גדל במהלך ארבעת העשורים מעת הכרזת השמורה בעשרות אחוזים. תוצאה זו מצביעה על הסירה כגורם תחרות אפשרי המדכא את אוכלוסיית האירוס. גורמי תחרות אפשריים נוספים הם צמחים עשבוניים וזחלים. בחינות סטטיסטיות של הדגם המרחבי של פיזור האירוס ביחס לסירה הקוצנית, ושל מאפיינים פיזיולוגים של צמחי אירוס הגדלים בתוך ומחוצה לה גילו תמונה מובהקת של שוני מורפולוגי באירוס שיכולה להתאים לצמיחה אטיולנטית בשל תחרות על אור. מגמה דומה, אך חלשה בהרבה, נצפתה באירוסים הגדלים בשטחים מכוסים בצמחים עשבוניים. האפקטיביות של מספר חלופות ממשק אקטיביות לאישוש אוכלוסיית האירוס בשמורה נבחנה במשך שלוש עונות שדה. באביב 2002 מופו מיקומי כל צמחי האירוס והפרחים ב-24 חלקות מחקר בשמורה באמצעות מכשיר GPS בשיטת RTK. באביבי 2003 ו-2004 נבחנה השפעת טיפולי השמדת הסירה הקוצנית, דיכוי צמחים עשבוניים והשמדת זחל דובון הקורים (*Ocnogyna loewii*) על מספרי הצמחים והפרחים. מספרי הפרחים ומיקומם נבחנו גם בשנת 2006 בחלקות השמדת הסירה בלבד. הדיוק בשיטת המיפוי GPS-RTK שננקטה אפשר ניתוח מדויק של שינויים בפריחה בחלקות ועשוי לאפשר בעתיד ניתוח של התפשטות צמחי אירוס לאזורים שהיו ריקים מאירוסים אם תתרחש, אך לא אפשר מעקב על כל פרט כפי שציפינו. ניתוח הנתונים בוצע בשימוש מערכת GIS והראה עלייה (לא מובהקת סטטיסטית) במספרי הצמחים והפרחים בחלקות הטיפול בסירה. מידע חדש במאמר החושף יתרונות בבית הגידול הצמוד לסירה הקוצנית מטיל אור חדש על מחקר זה ודורש בדיקה מחודשת על יחסים מורכבים יותר עם הסירה הקוצנית, מלבד תחרות. בחלקות ניסוי השמדת העשבוניים נצפתה ירידה במספרי הצמחים עקב נזקי אכילה על ידי חולדים שנמשכו לחלקות החשופות. הרבייה המינית הטבעית נבדקה באוכלוסיית השמורה ובאוכלוסיה הקרובה והיציבה בהר יונה. התגלו שיעור חנטה ומספרי זרעים דומים מאד בשתי האוכלוסיות. בבדיקת יעילות האבקה מלאכותית בהגברת שיעור החנטה ומספרי הזרעים התגלה שהאבקה מלאכותית בשמורה על ידי אבקה מפרחי השמורה מעלה את שיעור החנטה ומספרי הזרעים בצורה מובהקת. האבקה מלאכותית בהצלבה (אבקה מהר יונה לשמורה ולהיפך) התגלתה כיעילה יותר מהאבקה מלאכותית באבקה ממקור מקומי והעלתה בצורה מובהקת את שיעור החנטה ומספרי הזרעים בשני האתרים. בנוסף לכך נערך ניסוי האבקה עצמית ונבדקו מספרי

מאביקים בפרחים. ניסויי ההאבקה בהיקף רחב מבחינת מורכבות הניסויים ומספרי הפרחים כפי שבוצעו במחקר זה מהווים תקדים בחקר הרבייה המינית של אירוסי ההיכל. תוצאותיהם מלמדות לראשונה על שיעורי האבקה טבעיים ומספרי זרעים וביציות בשני אתרים באזור נצרת. כמו כן, מתועדת בתזה זו בפעם הראשונה תופעת הפלת חנטות כחלק ממנגנון אי התאם עצמי באחד מאירוסי ההיכל. מסקנות עבודה זו מובילות להמלצות הממשק הבאות: (1) יש להרחיב את הטיפולים סביב חלקות בהן ניכרה ההשפעה החיובית של הסרת הסירה הקוצנית, (2) יש להמשיך מעקב אחרי שאר החלקות לצורך קבלת החלטות ממשק לגבי אזורי השמורה האחרים, (3) אין לבצע פעולות לדיכוי צמחים עשבוניים מלבד רעייה ו- (4) להגברת יצור הזרעים בשמורה יש לבצע האבקה מלאכותית. עדיפות צריכה להינתן להאבקה באבקה מאוכלוסיה אחרת תוך הימנעות משימוש באבקה ממקור רחוק מאד בשל החשש לשינוי תהליכים אבולוציוניים ו"זיהום" האוכלוסייה בגנים פחות מותאמים לתנאים מקומיים.

1. מבוא

1.1 האירוס הנצרתי

האירוס הנצרתי שייך לסקציית אירוסי ההיכל במשפחת האירוסיים *Iris* (Siems.) Baker *Oncocyclus* (Iridaceae). אירוסי ההיכל הם צמחים גיאופיטים בעלי קנה שורש המאופיינים במניפת עלים אחת ופרח בודד מכל פרט. אירוסי ההיכל גדלים בבתי גידול הררים יובשניים למחצה ברחבי המזרח התיכון. האירוס הנצרתי (*Iris bismarckiana* Regel) מיוחד בפרח הדו גוני שלו ובנדירותו היחסית. ככל הנראה זהו מין האירוס היחיד הנגוע בניוון ויראלי (אבישי 1975). בעונת החורף מצמיח האירוס הנצרתי מניפת עלים בגובה 30-50 ס"מ. העלים מתייבשים בתחילת הקיץ והצמח רדום עד החורף הבא. האירוס הנצרתי מתאפיין בריבוי מיני מועט (שמירת טבע בישראל, מחקרים וסקרים דוח 1) המוערך ע"י יובל ספיר בחנטה של כ-5% מכלל הפרטים הפורחים (יובל ספיר, מידע בע"פ). יתכן וזהו תוצא של אי ההתאם העצמי והעובדה שהוא גדל באוכלוסיות קטנות ומבודדות בעלות מגוון גנטי מצומצם. המצב ההתחלתי או הנוכחי של השמורה אינו ידוע מבחינה גנטית אך ירידה במגוון הגנטי הינה תהליך שמגביר את עצמו בצמח בעל מנגנון אי התאם עצמי ועלולה להביא לצוואר בקבוק גנטי וקריסה של האוכלוסייה. יצירת פירות וזרעים הם שלבים חיוניים במחזור חיי צמחים עילאיים ומשפיעים על יכולת ההישרדות של המין, לכן לימוד הגורמים המגבילים את הרבייה המינית נדרש על מנת להחליט על ממשק לשימור האוכלוסייה. התרבות האירוס היא בעיקר בצורה וגטטיבית ומתבצעת על ידי שלוחות קנה שורש ארוכות בסוף עונת הפעילות, שלוחות אלה יוצרות קלונים (שבטים) גדולים המורכבים מפרטים זהים מבחינה גנטית. האירוס הנצרתי גדל במדרונות מנוקזים בשולי החורש בגליל העליון, בבתות ספר עם סירה קוצנית בהרי נצרת, ולעיתים בחברות הקיפודן והמרווה הריחנית. קרקעות בתי גידולו מגוונות: בנצרת ובגליל המערבי על קרקעות טרה רוסה, בגבעת המורה על קרקע בזלתית ובמקומות אחרים על רנדזינה הררית (איור 1). רום בתי הגידול נע מ-350 מ' בגליל המערבי ועד 1100 מ' במורדות החרמון (Sapir and Walzcak 2002 ; שמירת טבע בישראל, מחקרים וסקרים דוח 1).

איור 1 – תפוצת האירוס הנצרתי בישראל.

הכתמים הלבנים מסמנים אזורים בהם ניתן למצוא אוכלוסיות של אירוס נצרתי.

Figure 1- The spatial distribution of the *Iris bismarckiana* in Israel. The white spots mark areas where Iris *bismarckiana* populations can be found.

1.2 שמורת האירוס הנצרתי

שמורת האירוס הנצרתי משתרעת על פני 130 דונם על המדרונות המזרחיים של הרי נצרת דרומית מערבית לכפר עין מאהל (איור 2). עד להכרזת השמורה בשנת 1963 רוב השטח עבר עיבוד מסורתי שלא מנע קיום אוכלוסיית אירוס נצרתי. בעקבות ההכרזה נאסרה כל פעילות בשטח השמורה מלבד טיול רגלי. רעייה מבוקרת לדיכוי הצומח הרב שנתי מותרת גם היא מסוף החורף באישור פקח רשות שמורות הטבע והגנים הלאומיים. שטח השמורה נמצא על תשתית סלע גיר מכוסה בקרקע טרה רוסה. חלק מהשטח זרוע בסלעים גדולים ושאר השטח טרשי עם שיעור אבניות גבוה. בשטח שעבר עבוד חקלאי סוקלו האבנים לתילים נקודתיים ואורכיים. הצומח בשמורה הוא בתה ים תיכונית אופיינית, מיעוטו מעוצה ורב שנתי ורובו עשבוני עונתי חורפי. בשטח פזורות מעט נטיעות של אורן הגלעין ואקליפטוס המקור. ממוצע המשקעים השנתי הוא 650 מ"מ, רובם בצורת גשמי חורף מתחילת נובמבר ועד סוף אפריל. דיווחים בעל פה של אנשי רשות הטבע והגנים העלו חשש לירידה במספרי הצמחים והפרחים באוכלוסיית השמורה.

איור 2 – שמורת האירוס הנצרתי וסביבותיה.

Figure 2 – The Nazareth Iris Reserve and its environs.

1.3 שימור מינים נדירים

העיסוק במינים נדירים ושימורם הוא אחד מהתחומים המרכזיים בשמירת טבע, אך אין עוד תחום כמותו להדגיש את המימד הסובייקטיבי באפיונם של מינים נדירים ובהגדרתם כערך טבע שיש לשמרו. משמעותו של מין נדיר הראוי לשימור אינה חד משמעית. קיימים מצבי נדירות שונים ורובם ככולם תלויי סקלת מרחב. צמח בעל פיזור דליל מאד בשטח נרחב מאד כנראה אינו עומד בפני סכנת הכחדה לעומת צמח אנדמי בעל תפוצה נקודתית צפופה. ניסיון להגדיר מצבי נדירות של מינים הוא להגדירם על פי שילוב של

תפוצה גיאוגרפית, ספציפיות לבית הגידול וגודל האוכלוסיה המקומית. (Rabinowitz 1981). טבלה 1 מציגה מצבי נדירות שהוגדרו על פי מדדים אלה.

טבלה 1 מיון טיפוסי הנדירות של מינים בטבע לפי תחום גיאוגרפי, ספציפיות לבית גידול וגודל האוכלוסייה המקומית (לפי Rabinowitz 1981).

Table 1 – Sorting of rarity types in nature by geographical extent, habitat specifications, and population size (following Rabinowitz 1981).

תחום תפוצה	**גדול**		**קטן**	
	רחב	**צר**	**רחב**	**צר**
אכלוסיה מקומית גדולה, לעיתים שליטה.	(1) נפוץ מקומית בטווח רחב של בתי גידול (מצב נפוץ).	(2) נפוץ מקומית בטווח גאוגרפי רחב, בבית גידול ספציפי.	(5) נפוץ באופן מקומי בכמה בתי גידול אך מוגבל בתפוצה הגיאוגרפית.	(7) נפוץ באופן מקומי בבית גידול ספציפי אך מוגבל לטווח גאוגרפי מצומצם.
קטן, לא שליט	(3) פיזור דליל בטווח רחב של בתי גידול.	(4) נדיר בבית גידול ספציפי אך בטווח גיאוגרפי רחב.	(6) פיזור דליל בכמה בתי גידול אך בטווח גיאוגרפי צר.	(8) פיזור דליל בבית גידול ספציפי ובטווח גאוגרפי מצומצם.

1.4 הפרעה אקולוגית וממשק מתערב

עושר המינים ויציבותו באתר, חברה או אזורים גיאוגרפים נרחבים יותר הוא בראש וראשונה תולדה של תהליכים אבולוציוניים. התשתית האבולוציונית היא בסיס פעולתם של מנגנונים אקולוגים המאופיינים לכל סביבה ומעצבים בה את ההרכב ומדדי המגוון. יציבות או שווי משקל במערכת אקולוגית מתבטא במגוון מדדי עושר, מגוון, יצרנות, טריפה ותחרות, שתוצאות כולם הוא מצב "סופי" של שווי משקל בין המינים המתחרים. המצב השני, של אי שווי משקל במדדי המגוון (non-equilibrium) הוא מצב בו אחד מהגורמים האחראים לשווי משקל הופר או מופר בצורה מתמשכת, ושינה או משנה בצורה מתמשכת את אחד מהמדדים שאפיינו את האתר לפני השינוי. מערכת אקולוגית ים תיכונית היא דוגמא להיסטוריה ממושכת של הפרעות שנולדו עם התפתחות התרבויות הקדומות בחלק זה של העולם. שריפות, כריתה, בירוא חורשים ויערות, רעייה וחקלאות מסורתית היו ועדיין הינם חלק ממערך ההפרעות של שטחים מזה אלפי שנים. ההפרעה במערכת האקולוגית הוכרה כאחד הכוחות המניעים תהליכים אקולוגים בחברות ובמערכות אקולוגיות (Pickett and White 1985) לפיכך יש להפרעה חשיבות ברורה גם בממשק. שינויים בהפרעה או בעוצמתה עלולים להביא את המערכת למצב של אי שוויי משקל ולשנות בתגובת שרשרת את מדדי היצרנות, המגוון ועושר המינים. על כן, הגישה הלא מתערבת אינה מביאה לתוצאות רצויות. גישה אחרת, חדשה יחסית מציעה התערבות פעילה ומבוקרת בשטחים המוגנים להשגת יעדי השימור.

בהתייחס לטבלה 1, האירוס הנצרתי שייך לצורת הנדירות החמישית. הוא נפוץ באופן מקומי וצומח במספר מיני קרקעות ובתי גידול אך מוגבל בתפוצה הגיאוגרפית. לבד מהבעייתיות של הגדרת הנדירות, ההחלטה מה לשמר מושפעת גם משיקולי אסטטיים-חווייתיים של האדם. למרבה מזלו האירוס הנצרתי נחשב ליפה ואהוב על מטיילים, ואף נבחר כסמלה של נצרת עילית, כך שיש תקווה שייעשו פעולות לשימורו.

שמורת האירוס הנצרתי, כפי שנמסרה לרשות הטבע והגנים עברה היסטוריה מתמשכת של שינויים והפרעות אינטנסיביות. רעיה, שריפה וחקלאות הן הפרעות רבות השפעה המדכאות מינים מעוצים ורב שנתיים, ומפחיתות את עוצמת התחרות המופעלת מצידם על מינים עשבוניים (Pantis and Mardiris 1991). שטח שעבר שינויים בעוצמות וסוגי ההפרעות שלו ועקב כך שינויים בעושר או מגוון המינים מחייב ממשק אקטיבי לשימור מגוון מינים רצוי. בעיה שהטרידה את האקולוגים היא היכולת לשחזר הפרעות בקנה מידה נרחב. בשילובן של הפרעות בממשק מערכות אקולוגיות טמונות בעיות רבות. בעיות עקרוניות לגבי מהות ההפרעה ועוצמת ההפרעה הדרושה, והאם היא אמנם חלק מהמערכת. כמו כן קיימות בעיות יישומיות של ההפרעה הרצויה ושאלות האם התוצאה שהתקבלה רצויה לשטח לצד הסכנה שנרע את מצב השטח עוד יותר, או שייווצר נזק בטווח הארוך בהיבטים לא צפויים. העבודה המתוארת בתיזה זו כוללת ניסוי ממשק מתערב, המנסה לחקות את נטרול התחרות עם המין המעוצה סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*) בקנה מידה קטן שאינו מזיק לשאר השטח, ולבדוק האם חלה הטבה באוכלוסיית הניסוי במדדי מספרי הצמחים והפרחים.

1.5 מטרות המחקר

מטרת העל של המחקר הינה חקירת הגורמים המגבילים את אוכלוסיית האירוס בשמורה ומציאת דרכי הממשק להגדלתה. בשל מגוון הנושאים בהם החיבור עוסק, המבנה שלו מיוחד וכל פרק בו זוכה למבוא, שיטות, תוצאות ודיון משלו.מטרת כל פרק תפורט לאחר המבוא שלו.

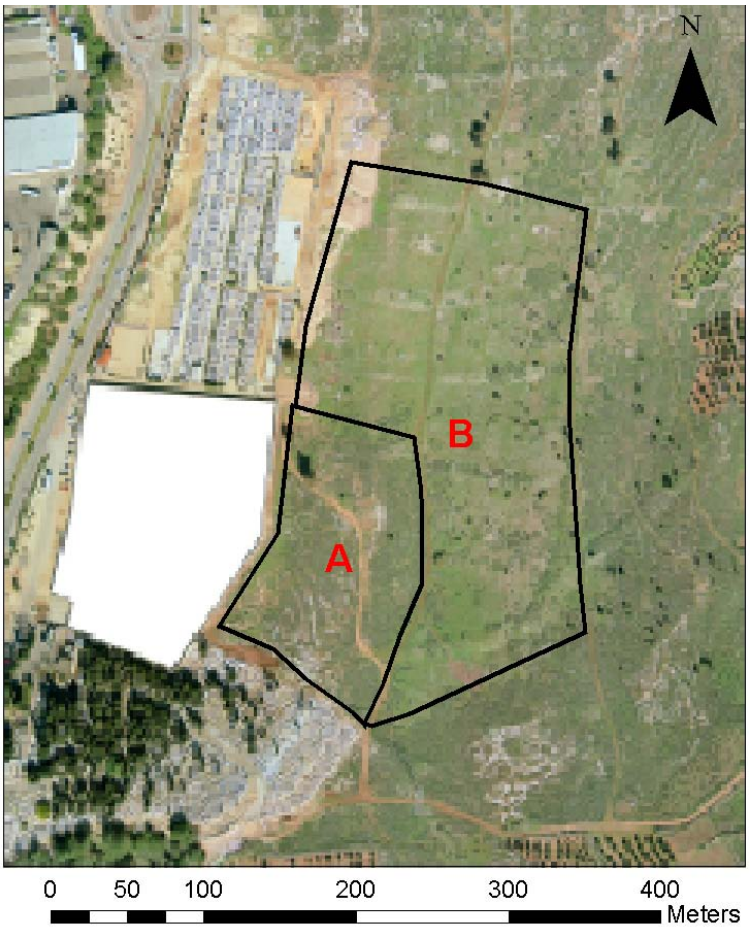
2. שינויים בתצורות הצומח בשמורה בעשורים האחרונים

2.1 מבוא

צומח מעוצה בכלל והסירה הקוצנית בפרט עלולים להוות תחרות לאירוס בשמורה. השמורה הוכרזה על ידי רשות הטבע והגנים בשנת 1963. מאז עברה תמורות רבות באופי ואינטנסיביות שימושי הקרקע בגלל השינוי ביעוד השטח, והשינויים הכלכליים והתרבותיים של האוכלוסייה באזור. מהתרשמות ויזואלית ושיחות עם תושבי הכפר עיין-מאהל הרועים באזור, ניתן להעלות מספר השערות לגבי השינויים שחלו עקב הכרזת השמורה. בעבר היה שטחה שאינו סלעי מעובד בצורה חקלאית מסורתית. שימוש אינטנסיבי בצומח מעוצה לצורך בעירה כפי שהיה מקובל בעבר סביב כפרים ערביים באזור דיכא את התפתחות החורש הים תיכוני האופייני לאזורים בעלי אקלים דומה. שטח השמורה המעובד עבר עיזוק וסיקול אבנים למערומים ותילי אורך הניכרים בשטח עד היום. להגברת תנובת העשבוניים לטובת המרעה נשרפו שיחי סירה קוצנית

גבוהים וסמיכים בצורה אקראית ונקודתית. קטיף צומח המאכל אסור על פי החוק אך לא נעלם וקיים בשמורה. ניתוח השינויים שחלו בשמורה בעשורים האחרונים עקב הכרזתה והשינויים הסוציו-אקונומיים באוכלוסיית האזור מוביל למסקנה שעוצמת ההפרעות האנתרופוגניות לצומח המעוצה המאפיין אזורים ים תיכוניים פחתה. איכלוס בסירה קוצנית באזורי חקלאות מסורתית שננטשו היא דינאמיקה נפוצה באזורים ים תיכוניים (Litav & Orshan 1971). הטכניקה שנבחרה לבחינת הצומח המעוצה לאורך השנים הינה סיווג ידני של צומח על פי תצלומי אויר של שמורה מתקופות שונות (Aaviksoo, ,Frelich, L. E 1995 .(K. 1993

מטרת הפרק: לבחון את מגמת וקצב השינוי בכיסוי הצומח המעוצה בשמורה.



איור 3 – תצלום אויר משנת 2002 שטחים A ו-B תחומים בשחור.

Figure 3 – An aerial photograph from 2002. Areas A and B are delineated in black.

2.2 שיטות

לבדיקת השינויים בצומח המעוצה משנות ההכרזה ועד היום הוזמן תצלום אויר עדכני של השמורה בקנה מידה 1:1000 מחברת נשר. טיסת הצילום בוצעה בתאריך 1 ינואר 2002. התצלום כולל עותק ממוחשב מיושר לאורטופוטו, המאפשר ניתוח הכיסוי הנוכחי של הצומח המעוצה תוך זיהוי וודאי של הסירה. תצלום זה נבחן בהשוואה לשני תצלומים מהשנים 1960 ו-1990 שנרכשו מהמרכז למיפוי ישראל. תצלומים

אלה 'יושרו' אל מול האורטופוטו, על מנת לאפשר השוואה כמותית בכיסוי הצומח המעוצה בשנים השונות. שלושת תצלומי האוויר ניתנים באיור 4. מבחינת התצלום מ-2002 ומבדיקות בשטח עולה שרוב הצומח המעוצה בשמורה הוא סירה קוצנית. בתצלומים הישנים (מ-1960 ו-1990) לא ניתן לזהות את מיני הצומח המעוצה. ההנחה היא שהצומח המעוצה בתצלומים אלה הוא סירה קוצנית. הנחה זו סבירה לאור הזהות במיקום גושי הצומח בשלושת התצלומים. עבודות קודמות מדווחות שהתפשטות הסירה היא בצורת התרחבות "זוחלת" בשכנות לשיחים קיימים (Seligman and Henkin 2000). בדיקה איכותית של כתמי הסירה בתצלומי האוויר לאורך השנים מראה מגמת התפשטות. לצורך הערכה כמותית של שיעור ההתפשטות בחרנו אזור שגודלו כ-75 דונם (איור 4) המהווה כמחצית משטח השמורה. השטח שנבחר הוא שטח שהיה דל בסירה קוצנית עם הכרזת השמורה, המצוין כשטח B באיור 3. בקטע זה סומנו גבולות שיחי הסירה הקוצנית על גבי שלושת תצלומי האוויר. זיהוי ותיחום הכתמים נעשה בצורה ידנית. הכתמים זוהו בעין תוך הצגת התצלום בהפרדה מיטבית, וגבולם סומן ידנית כשיכבה בתוכנה ARC-GIS. שטח הכתמים חושב על ידי התוכנה בצורה אוטומטית. אין אפשרות להציג את התצלומים ברזולוציה ששימשה בעת הדיגיטציה.

2.3 תוצאות

עיון בתצלומי האוויר של האזור ובדיקות בשטח מעלים מספר מסקנות לגבי שמושי שטח השמורה בעבר, והשינויים שחלו בו מאז הכרזת השמורה. השמורה הייתה מחולקת לשטח טבעי ולאזור מעובד (ראה איור 3 שטח A ושטח B, בהתאמה). שטח A עשיר בסירה קוצנית וגושי סלע גדולים הבולטים מעל פני האדמה מעידים על תשתיות סלע עמוקות המהוות מכשול לעיבוד חקלאי. העדר עדות לתילי סיקול מצביע על כך ששטח זה לא עובד לפחות מאז קום המדינה. בשטח זה נוכחים בדלילות שיחים ומיני בני שיח רב שנתיים בנוסף לסירה הקוצנית. צמחים אילו זוהו בשטח כשבטן לבן, שרביטן מצוי, זוטה לבנה, אשחר ארץ ישראלי, צלף קוצני, אשבל ערבי ועוד. חישוב כמותי של שיעור התפשטות הסירה בשטח זה אינו אפשרי מאחר וצפיפות הסירה בשטח זה היא גבוהה. ההפרדה הנמוכה של התצלומים הישנים לא מאפשרת תיחום הכתמים. שאר השטח של השמורה נראה בתצלומי האוויר כשטח שעבר עיבוד חקלאי מסורתי (ראה איור 3, שטח B). השטח מאופיין בתילים אליהם רוכזו האבנים שסוקלו משטח השדות. תילי סיקול אלה טיפוסיים לשטחי חקלאות ים תיכונית מסורתית. צומח מעוצה כמעט לא ניכר בשטח זה בתצלום משנת 1960. סירה גדלה בו בעבר אך ורק על תילי הסיקול (ניתן לראות זאת בהפרדה מייטיבית בתצלום הדיגיטלי, אך לא באיור 4). שאר השטח כיום חשוף בקיץ ומכוסה בעיקר בצמחייה עשבונית בחורף. השוואה איכותית של תצלומי האוויר מהשנים השונות מראה גידול באחוז הכיסוי של הסירה הקוצנית בשטח B. החישוב הכמותי של כסוי הסירה שבוצע בשטח החקלאי מראה כי בין השנים 1960-2002 גדל כיסוי הסירה ביותר מפי שתיים (טבלה 2). ניתן לראות מגמת התפשטות ברורה של כתמי הסירה הקיימים, כמו גם הופעת כתמי סירה חדשים. חישוב קצב הגידול מראה שבין השנים 1960 ל-1990 חל גידול שנתי של אחוז אחד לשנה בממוצע. בין השנים 1990 ל-2002 חל גידול של 3.5% לשנה בממוצע. אם יימשך קצב גידול זה בעתיד, יתקבל כיסוי מלא של 100% סירה בשנת 2045. שגיאות בחישוב זה עלולות לנבוע

מאי דיוק בחישוב כיסוי הסירה עקב ההפרדה השונה של התצלומים. ההפרדה הנמוכה בתצלומים הישנים, כמו גם חוסר בכלים לאימות את הסיווג שנעשה בהם מסייגים את התוצאה שהתקבלה. כל אלה מצביעים על אפשרות של הערכת חסר בתצלומי 1960 ו-1990. שגיאות אלה מובילות להערכת יתר של קצב התפשטות הסירה ומטילות ספק לגבי דיוק הבדיקה.

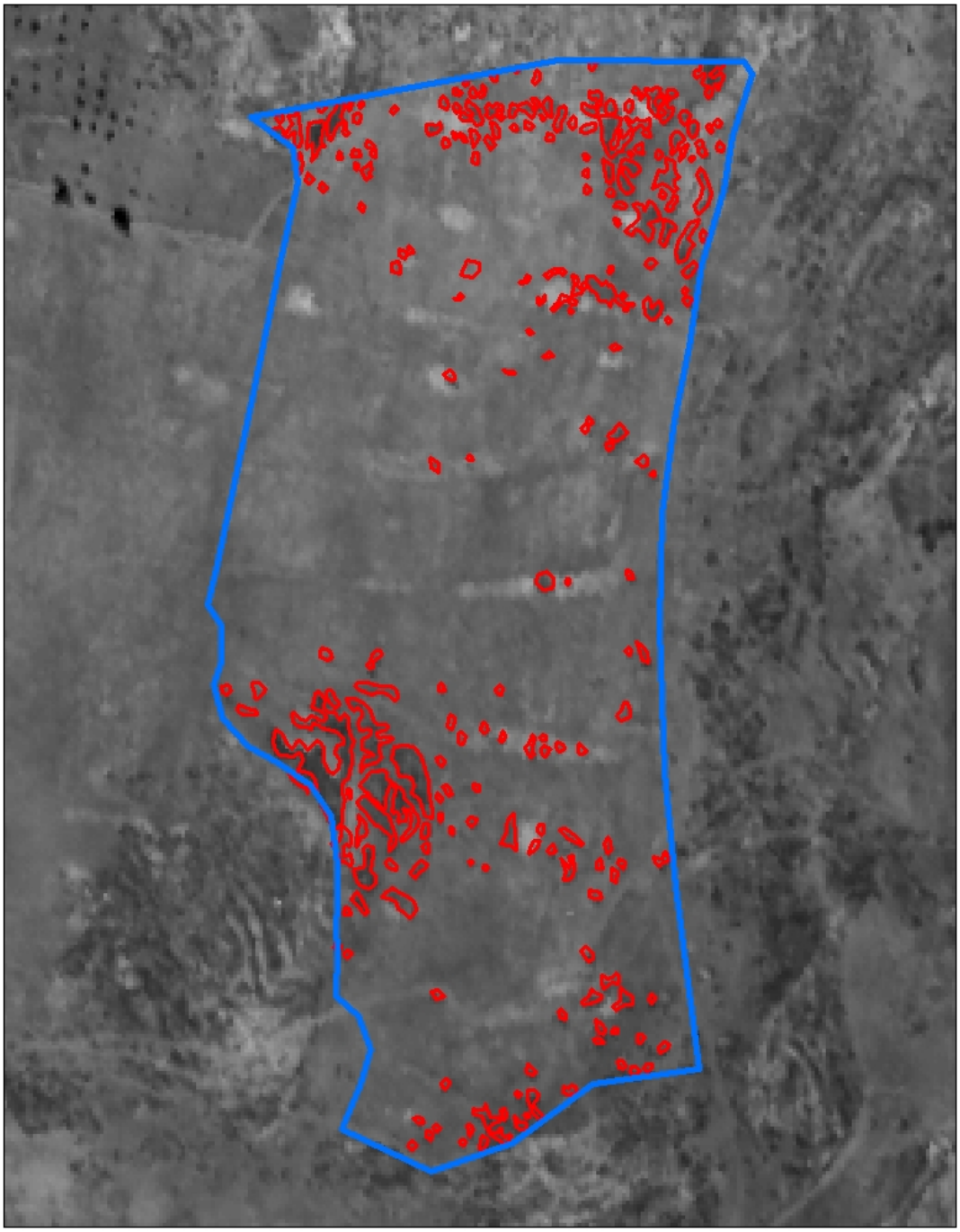
טבלה 2 - אחוז כיסוי הסירה הקוצנית בשטח הנבדק.

Table 2 – The Prickly Burnet coverage percentage in the study area.

השנה	**השטח המכוסה סירה קוצנית (מ"ר)**	**אחוז כיסוי**
1960	8332	11.05
1990	10649	14.12
2002	19083	25.30

(א)

(a)

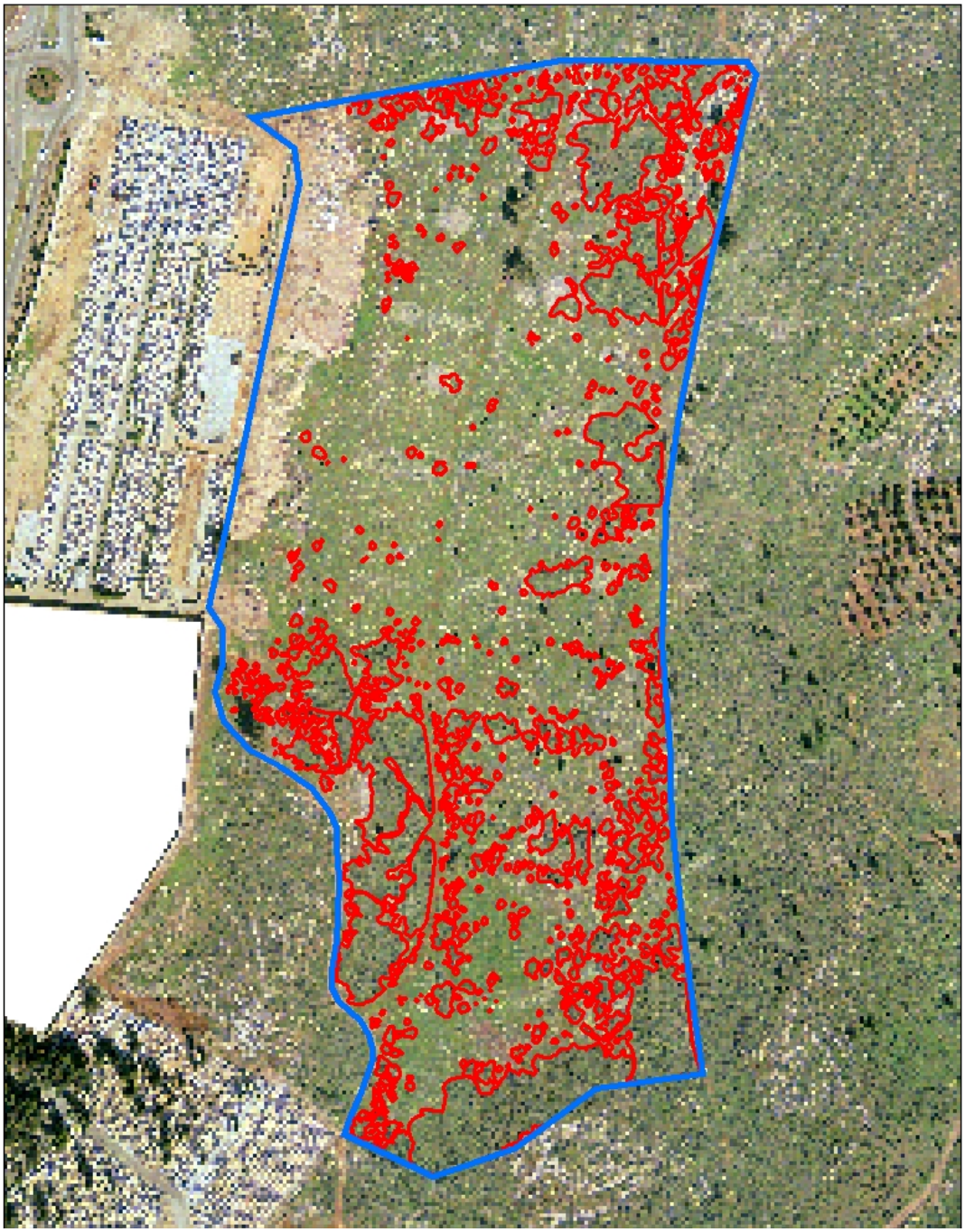


(ב)

(b)

(ג)

(c)



איור 4 – שלושה תצלומי האוויר משנים שונות של שטח השמורה. שטח B שעבר דיגיטציה ידנית של כיסוי הסירה מוקף בכחול. כתמי הסירה מוקפים באדום. (א) תצלום משנת 1960, (ב) תצלום משנת 1990, (ג) תצלום משנת 2002.

Figure 4 – Aerial photographs from different years of the reserve. Area B, whose Prickly Burnet coverage was digitized, is delineated by a blue line. The Prickly Burnet bushes are marked by red lines. (a) A 1960 photograph, (b) a 1990 photograph, (c) a 2002 photograph.

2.4 מסקנות

תצלומי אויר של השמורה מצביעים על גידול בשטח הכיסוי של הסירה. ניתן לשער שבשמורה חל תהליך הדומה לאזורי חקלאות מסורתית ים תיכוניים רבים אחרים שהופסקה בהם פעילות של החקלאות המסורתית. השטח התאפיין כנראה בחורש ים תיכוני ברמה מפותחת יותר מרמתו הנוכחית. שרידים לחורש זה הם פרט של לבנה רפואי ושני פרטים של אשחר ארצישראלי שנצפו בשטח. משלב מסוים בהיסטוריה עבר השטח שריפות יזומות, רעייה וכריתה ברמה לא ידועה. בשלב מאוחר יותר התבססה חקלאות מסורתית אינטנסיבית בשטח B, עדויות לה הם תילי האבנים הפזורים בשטח. פעולת חריש שנתי בשטח זה מנעה התבססות של צומח מעוצה, דבר הניכר עד היום במיעוט מינים מעוצים (מלבד סירה קוצנית). הפסקת החקלאות המסורתית עקב הכרזת השמורה גרמה להתפשטות מהירה של הסירה הקוצנית. ניתן גם לשער שבמקביל להתפשטות הסירה לרוחב חל גם גידול בגובהה הממוצע. לכך יש השלכות על כושר התחרות שלה עם צמחים אחרים ככלל, ועם האירוס בפרט. עתיד השטח על פי המגמה שניכרת בניתוח תצלומי האוויר והדינאמיקה הצפויה היא התפשטות הסירה הקוצנית עד כסוי מלא של שטח B בשנת 2045. יתר על כן, ככל שתקטן הפרעת הרעייה והכריתה באזור בשל המשך השינויים החברתיים והכלכליים שעוברים על האוכלוסייה המקומית, יגבר קצב התפשטות הסירה. הסתייגויות מחישוב זה הן שקצב הגידול לא בהכרח יהיה קבוע ולא בכל השטח יש תנאים מתאימים לגידול סירה. מתצפיות בשטח עולה כי הרעייה רומסת צמחי סירה צעירים ומדכאת שיחי שיחה בוגרים. הצעת ממשק לאור קביעות אלה היא הקטנת כיסוי הסירה בשטח על ידי שריפה מבוקרת בימי הקיץ או גיזומה וכן תוספת רעיה.

3. השפעת הסירה על האירוס

3.1 מבוא

מסקנת הפרק הקודם, שהסירה הקוצנית אכן במגמת התפשטות בשמורה, מעלה את שאלת היחסים ההדדיים בין הסירה לאירוס. במצבי תחרות בין אורגניזמים על משאבים מוגדרים מצבי הדדיות שונים לכל משאב עליו מתחרים האורגניזמים. יתכן שלסירה גם השפעה חיובית על האירוס. ארנון וחובריו (2007) הראו כי בשולי סירה קוצנית בספר מדבר באזור להבים תנאים מועדפים לעשבוניים מבחינת נוטריאנטים וצומחת בהן ביומסת עשבוניים גבוהה משמעותית מאשר בלב השיח או במרחק הגדול מחמישה עשר סנטימטרים משולי השיח. במערכות ספר מדבר לסידור הכתמי יש השפעה מכרעת על טבעם וקצבם של תהליכים א-ביוטיים וביוטיים, בעקבות יחסי מקור-מבלע של חומרים כמו מים, קרקע, חומר אורגאני, נוטריינטים וזרעים, שעוברים חלוקה מחדש והסעה מהשטח הפתוח ומתרכזים בכתמים המעוצים (Boeken & Orenstein, 2001; Aguiar & Sala, 1999). מחקרים אחרים באזורים יובשניים הראו כי כתמיות של בני שיח במערכת מעלה את הייצור הראשוני, תומכת במגוון מינים גבוה יותר, בולמת תהליכי דליפה ומעלה את עמידות המערכת בפני הידרדרות וקריסה ("מידבור") בעקבות בצורת, רעיית יתר או כריתה (Ludwig & Tongway, 1995; Gilad et al., 2004; van de Koppel & Rietkerk, 2004; Oren, 2001). יתכן שתופעות אלה מתקיימות גם באיזור לח יותר כדוגמת השמורה בנצרת, ומשפיעות על צימוח אירוסים סביב הסירה. לרוע המזל מידע זה נחשף רק עם סיום המחקר ולא הובא בחשבון במכלול

הניסויים, התצפיות ועיבוד התוצאות. מבחינת האירוס יש שלושה מצבים אפשריים ביחסו לסירה: האחד הוא קומנסליזם, בו האירוס מרוויח מנוכחות הסירה סביבו, השני אמנסליזם בו האירוס מדוכא מנכחות הסירה סביבו והמצב השלישי, נייטרליות, בו האירוס לא מושפע לטובה או לרעה מנוכחות הסירה סביבו. בפרק זה נבחן לאיזה ממצבים אילו מתאימים יחסי האירוס והסירה. מבחן ראשון ינסה לענות על השאלה הכללית האם ובאיזו צורה האירוס מושפע מנוכחות הסירה שחולקת עימו את בתי גידולו. המבחן השני יבדוק האם נכחות הסירה משפיעה על צורתו של צמח האירוס. משאבים חשובים שיכולים להתמעט בעקבות נכחות הסירה הקוצנית הם מים, אור ונוטריאנטים שונים בקרקע. בחינת התחרות או התרומה האפשרית של הסירה על משאבים אילו דורשת ניתוח דגימות קרקע שלא בוצעו במסגרת מחקר זה.

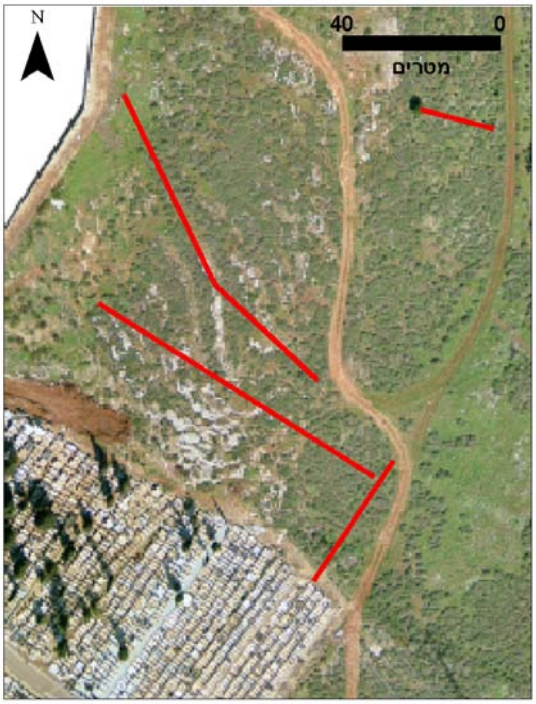
מטרות הפרק: בחינת הקשר המרחבי בין כתמי הסירה לדגם צמיחת האירוסים, ובחינת השפעת נוכחות צמחים עשבוניים וסירה סביב האירוס על מימדיו ומספר העלים שלו.

3.2 ניתוח חתכים אופייניים

לצורך בחינת יחסי הגומלין בין הסירה לאירוס מבחינה כמותית נוסחו ההשערות הבאות: השערת H_1 היא שאוכלוסיית האירוסים מושפעת לרעה (אמנסלי) עקב נוכחות הסירה. השערה זו נבחנת לעומת ההשערה H_0 שהאירוס אדיש לנוכחות הסירה (נטרלי).

3.2.1 שיטות

מספר חתכי דיגום ישרים נבחרו לאורך ורוחב שטח A (איור 5), העשיר בסירה קוצנית. מקומם המדויק של החתכים נבחר באקראי. עקב מגבלת גודל השמורה ודלילות האירוסים, לא ניתן היה למצוא חתך אחד מייצג. הדיון שלהלן מתייחס למקטעי החתך השונים כאל חתך אחד. באביב שנת 2003 חוט נמתח לאורך החתך, ומשני צידיו עד מרחק של חצי מטר מופו כל צמחי האירוס. שטח כיסוי הסירה לאורך החתך חושב כיחס אורך החוט שעבר מעל סירה ליחס אורכו הכולל של החתך. חישוב זה נעשה תחת ההנחה שקוטר ממוצע של שיח סירה הוא מטר אחד. האירוסים שמופו סווגו לשלוש קבוצות: אירוסים שצומחים בתוך שיח סירה, על גבול שיח סירה (נוגעים בשיח הסירה רק מצד אחד) ובשטח ריק מסירה. השפעת הסירה על אירוס הנמצא על גבולה אינה ברורה. לדוגמא אירוס שנמצא צפונית לשיח סירה גדול מוצל מאד לעומת אירוס שנמצא מדרומה, שאינו מושפע כמעט מבחינת כמות הקרינה. עקב אי הבהירות בשיוך קבוצת האירוסים על גבול סירה, נערוך שתי בחינות שונות. באחת נתעלם מקבוצת האירוסים על גבול סירה (שימוש אך ורק באירוסים בתוך ומחוץ לסירה) ובשנייה נצרף אותם לקבוצת האירוס בתוך סירה. נגדיר כל אירוס בניסוי כמבחן ברנולי עם תוצאה חיובית (אירוס בתוך סירה) בהסתברות p, ותוצאה שלילית (אירוס מחוץ לסירה) בהסתברות $q = 1- p$. מספר האירוסים בתוך הסירה N הוא אם כך משתנה אקראי S מפולג בינומית $S = B(n ,p)$, כאשר n הוא מספר האירוסים הנכלל בניסוי ו-p היא ההסתברות להמצאות אירוס בתוך הסירה בהתאם להשערה H_0. (פירוט על מבחן ברנולי בנספח 7.1.1). ההסתברויות חושבו באמצעות פונקציית binocdf בתוכנת Matlab. המבחן הוא חד צדדי והסתברות לדחיית ההשערה H_0 (ערך p) קטנה מ-0.05 הוגדרה כמובהקת סטטיסטית.



איור 5 – מיקום חתכי הצומח.

Figure 5 – Locations of the cross sections.

3.2.2 תוצאות

טבלה 3 מציגה את תוצאות התצפית לגבי צמחי האירוס והסירה בחתכים. בהתאם לתוצאות אלו ההסתברויות לקבלת ההשערה H_0 במבחן בו משתתפים רק האירוסים שבתוך ומחוץ לסירה היא אפסית (7E-16). כאשר האירוסים בגבול הסירה נכללים כאילו צמחו בתוך סירה, ההסתברות לקבלת H_0 היא 0.032. חשוב להדגיש כי הבחינה השנייה היא שמרנית ביותר עקב הכללת קבוצת האירוסים על גבול סירה, ולמרות זאת מובילה אותנו בצורה מובהקת לאותה מסקנה ולדחיית H_0 ($p<0.05$).

טבלה 3 – אורכים כוללים של חלקי החתך המכוסים וריקים מסירה, ומספרי האירוסים התואמים כפי שנצפו בשנת 2003.

Table 3 – The total lengths of the part of the cross section covered by Prickly Burnet and the part without such cover, and the corresponding Iris numbers.

.

	חלק החתך המכוסה בסירה	גבול סירה	חלק החתך הריק מסירה	אורך כולל
אורך (מ')	93		122	215
מספר אירוסים	37	70	173	280

3.2.3 מסקנות ודיון

על פי התוצאות נראה שדגם הפיזור של האירוסים יחסית לסירה אינו אקראי ומושפע מאד מנכחות הסירה. אירוסים צומחים בעיקר מחוץ לסירה ובשוליה, וניתן לשער שהם נדחקים על ידי הסירה משטחים בהם היא נמצאת. תוצאות אלה מצביעות שהתחרות על מרחב בית הגידול מעמידה את האירוס בעמדה נחותה. מעניין במיוחד הוא מספרם הגדול של אירוסים בשולי שיחי סירה. יתכן שהתחרות על משאבי הקרקע והמים המוגבלים מובילים את הסירה והאירוס לאותו בית גידול אך האירוס יכול לשרוד רק באזורים שבשולי הסירה ואפילו מעדיף אותם. רעיון זה דורש בחינה נוספת שתבדוק את שיעור אזורי השוליים של הסירה בחתכים והתנאים בהם יחסית לכלל השטח. הממצא של ריבוי אירוסים בשולי הסירה תואם מחקר על הזיקה המרחבית של עשבוניים לבני שיח באזורים יובשניים (ארנון וחובריו, 2007). רעיון זה יכול להיבדק לעומקו על ידי דיגום חוזר ובדיקת נוטריאנטים בקרקע, הפעם תוך הגדרת שטח שולי השיחים וכימותו בחתך. לא מן הנמנע שיש תפקיד כפול לסירה ביחסיה עם האירוס, הן חיובי מבחינת טיוב הקרקע והן שלילי מבחינת תחרות על אור או משאבים אחרים, כיוון זה לא הובא בחשבון במחקר זה, ראה פרק 3.1. יש אפשרות שתוצאות ניסוי זה מוטות בשל הקושי במציאת אירוסים בתוך הסירה. תוצאות הדיגום הדומות לפני ואחרי השמדת הסירה בחלקות מצביעות על כך שהסיכוי לאי מציאת אירוסים בתוך הסירה נמוך.

3.3 השפעת תחרות על אפיונים מורפולוגיים של האירוס

3.3.1 מבוא

צמחים מושפעים ממכלול תנאי הסביבה של בית גידולם. תחרות בין צמחים החולקים את בית הגידול יכולה להתבטא במגוון תחומי השפעה בשל תחרות על משאבי סביבה כגון מים, נוטריאנטים, אור ועוד. ניתוח חתכי הצומח (פרק 3.2) העלה את האפשרות של דחיקה תחרותית של האירוס על ידי הסירה. נראה שהאירוס והסירה בדרך כלל אינם חולקים את אותו מיקרו בית גידול. האירוס גדל מחוץ לסירה או בשוליה אך על פי רוב לא בתוכה. נשאלת השאלה האם וכמה משפיעה התחרות בשמורה בכלל, ותחרות מצד הסירה בפרט, על האירוס הנצרתי. התשובות האפשריות הן רבות ומקיפות את מגוון משאבי בית הגידול. בבחינה ראשונית בשטח הובחן שאירוסים שצמחו בסבך עשבוניים או סירה הם בעלי מופע שונה מאירוסים שגדלו בשטח פתוח. העלים של האירוסים שצמחו בסבך היו ארוכים יותר, צרים יותר ונראה שאין ביניהם כמעט פרטים פורחים. סיבות אפשריות לתופעה זו הן רבות, בין השאר תחרות על משאבים שונים. צמח הסובל ממחסור בקרינה מפתח צמיחה קיפחת המתאפיינת בעלים וענפים אטיולנטיים דקים וארוכים (Wareing and Philips 1981). הוא נוטה לא לפרוח ואם תתכן פריחה הגבלת המשאבים עלולה להביא לאי חנטה. בגבעול והעלה אטיולנטי יש פחות תאים בעלי דופן מעובה ופחות רקמות הובלה ותמיכה כתוצאה מכך האיברים האטיולנטיים אינם נושאים את עצמם ומתכופפים בקלות (Wareing and Philips 1981). האם האירוס סביל להצללה שנגזרת מגדילתו בלב שיחי סירה קוצנית? על פי בית גידולו האופייני, האירוס הנצרתי אינו סביל לצל ומעדיף שמש מלאה עד חצי צל ואינו צומח בחורשים צפופים ומוצלים.

האם הגידול בכסוי הסירה בשמורה גורם לדחיקת צמחי האירוס עקב הקטנת משאבי האור או משאבים אחרים בשטחים שנכבשו על ידיה? האם אירוסים שצומחים בין עשבוניים מושפעים בצורה דומה?

3.3.2 שיטות

לבחינת השאלות שעלו במבוא נדגמו מספר מאפיינים מורפולוגיים של צמחי אירוס בארבע חלקות הביקורת בהן גדילה סירה קוצנית. הנתונים בהם השתמשנו היו מאותן חלקות מחקר של ניסוי הממשק האקטיבי (פרק 4). איור 6 מראה את המאפיינים המורפולוגיים שנמדדו: מספר העלים, רוחב העלה הרחב ביותר ואורך העלה הארוך ביותר. כמו כן נמדד גובה הסירה הקוצנית בנקודה בה צמח כל פרט באמצעות מקל דק בעל שנתות כל 5 ס"מ. אם ההשפעה השלילית של הסירה על האירוס היא בצמצום כמות האור, האירוסים הגדלים בתוכה צפויים לגדל עלים ארוכים יותר מעלי אירוסים שאינם מושפעים ממנה, כפי שנמצא בצמחים רבים אחרים במשטרי תאורה משתנים (Wareing and Philips 1981). במחקר על אירוס פומילה (*Iris Pumila*, Manitasvic at al, 2007) נראה קשר בין כמות הקרינה לשטח העלה ברמות תאורה שונות. אנו בחרנו את יחס אורך העלה הארוך ביותר לרוחב העלה הרחב נבחר כגודל מייצג נוסף המכמת את השפעת הסירה הקוצנית. הערכים של מאפיינים אלה נדגמו באירוסים שנמצאו בתוך סירה קוצנית ובאירוסים שנמצאו מחוץ לה. חשוב לציין שהמאפיינים המורפולוגיים נדגמו באותן חלקות ולכן מלבד נוכחות או העדר הסירה הקוצנית סביבם נהנו צמחי שתי הקבוצות מתנאי בית גידול דומים. אירוסים על גבול הסירה לא נכללו באנליזה זו מאחר והשפעת הסירה עליהם תלויה במקומם יחסית לסירה, שלא תועד. לבדיקת השפעה של העשבוניים על הפרמטרים המורפולוגיים, נבחרו ארבע חלקות ללא סירה קוצנית, שתיים מהן מטופלות נגד עשבוניים ושתי חלקות ביקורת. הפרמטרים באירוסים בחלקות הטיפול נבחנו מול הפרמטרים בחלקות הביקורת. יש לזכור שבמקרה זה מדגמי הניסוי והביקורת נלקחו מחלקות שונות ולכן יתכנו הבדלים נוספים בבתי גידולם מלבד הטיפול עצמו. בכל המקרים ההשערה H_0 כי ההבדלים בין שני המדגמים הם אקראיים נבחנה בצורה חד צדדית מול האלטרנטיבה H_1 כי קיים הבדל מהותי בין שני המדגמים. הסתברות לדחיית ההשערה H_0 (ערך p) קטנה מ-0.05 הוגדרה כמובהקת סטטיסטית. האפשרות לשוני בין מדגמי הניסוי והביקורת בכל המקרים חושבה באמצעות מבחן Mann-Whitney (Desu and Raghavarao 2004; Sokal and Rohlf 1995 וגם פרק 7.1.2 בנספח) בשימוש פונקצית ranksum בתוכנת Matlab.

איור 6 – פרמטרים מורפולוגיים שנמדדו בצמחי האירוס.

Figure 6 – The measured morphological parameters of the Iris plants.

3.3.3 תוצאות

הגדלים הממוצעים של המדדים הפיזיולוגיים למדגמי האירוסים בתוך ומחוץ לסירה ניתנים בטבלה 4. כפי שנראה בטבלה, אירוסים הגדלים מחוץ לסירה הם בצורה סטטיסטית מובהקת בעלי מספר עלים גדול יותר, ועליהם רחבים וקצרים יותר. הבדל הדרמטי בממוצע יחס האורך לרוחב בין שני המדגמים מצביע על השפעה בולטת של הסירה הקוצנית על צורת צמח האירוס, כנראה ע"י הפחתת כמות האור לה זוכים האירוסים הגדלים בתוכה.

טבלה 4 – סיכום הפרמטרים המורפולוגיים שנמדדו באירוסים בתוך ומחוץ לכסוי הסירה.

Table 4 – Summary of the morphological parameters that were measured in Irises within and outside the Prickly Burnet coverage.

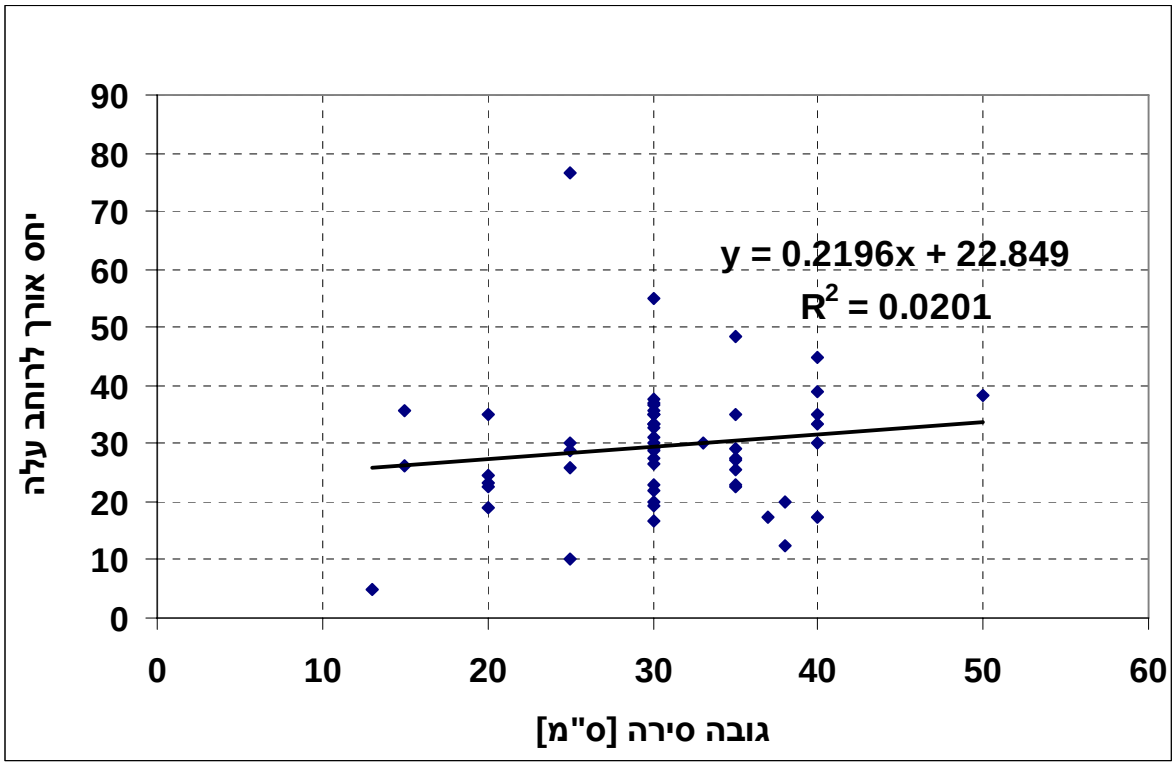
	גודל מדגם	מספר עלים ממוצע במדגם	רוחב עלה ממוצע (מ"מ)	אורך עלה ממוצע (מ"מ)	אורך/רוחב ממוצע
מדגם בתוך הסירה	99 צמחים	4.20	9.08	276.3	31.8
מדגם מחוץ לסירה	63 צמחים	4.87	11.39	213.1	19.4
ערך p		0.0044	2E-4	2E-7	2E-16

הגדלים הממוצעים של המדדים הפיזיולוגיים למדגמי האירוסים בחלקות ביקורת ובחלקות טיפול בעשבוניים ניתנים בטבלה 5. אירוסים הגדלים בחלקות שעברו טיפול נגד עשבוניים הם בממוצע בעלי עלים קצרים יותר ומספר עלים גדול מאירוסים בחלקות הביקורת. רוחב העלים בחלקות הטיפול והביקורת דומה. ההבדלים בניסוי זה אינם דרמטיים כמו ההבדלים בניסוי האירוסים בתוך ומחוץ לסירה.

טבלה 5 – סיכום הפרמטרים שנמדדו באירוסים בחלקות הביקורת (עם כסוי עשבוניים) ובחלקות הטיפול בעשבוניים.

Table 5 – Summary of the morphological parameters measured in Irises in the control plots (with grass coverage) and the plots where the grass was depressed.

	גודל מדגם	מספר עלים ממוצע במדגם	רוחב עלה ממוצע (מ"מ)	אורך עלה ממוצע (מ"מ)	אורך/רוחב ממוצע
מדגם בתוך עשבוניים	57 צמחים	4.06	12.94	217.0	21.3
מדגם מחוץ לעשבוניים	61 צמחים	5.08	12.63	185.3	15.0
ערך p		1.6E-5	0.486	8.8E-4	0.0087



איור 7 – יחס אורך לרוחב עלה כפונקציה של גובה הסירה הקוצנית.

Figure 7 – The length to width ratio of leaves as a function of the height of the Prickly Burnet.

הבדלים מובהקים נמצאו אם כך במאפיינים הפיסיולוגים בין האירוסים שצמחו בתוך ומחוץ לסירה. אם הצללה על ידי הסירה היא הגורם המשפיע על צורתו של האירוס, צפויה הקצנה ביחס אורך לרוחב עלה ככל שהסירה גבוהה יותר. איור 7 מראה את יחס אורך לרוחב העלה כפונקצית גובה הסירה. ניתן לראות

מגמת עלייה קלה בשיפוע 0.022 אך עם ערך R^2 קטן מאד (R^2=0.02). תוצאת המתאם הנמוך עלולה לנבוע מכך שמדידת גובה הסירה נעשתה בכלי מדידה לא מדויקים, וגורמים נוספים המשפיעים על הפרמטרים שנמדדו באירוס כגון סמיכות ומפנה הצללת הסירה שלא נלקחו בחשבון.

3.3.4 מסקנות

צמחי האירוס בתוך הסירה הקוצנית נבדלים דרמטית מאירוסים מחוץ לסירה באורך ורוחב העלים וביחס אורך לרוחב עלה. הבדלים דומים ומובהקים פחות, נמצאו בין אירוסים שגדלים בחלקות עם עשבייה ובחלקות שטופלה בהן העשבייה. נראה שהתחרות עם הסירה קשה יותר מהתחרות עם העשבוניים. שימוש במדד אורך חלקי רוחב מנטרל הבדלים שעלולים היו לנבוע ממשתנים אחרים שאינם קשורים לנכחות הסירה (כגון גיל הצמח או גנטיקה שונה) ולכן מובהקות תוצאותיה גבוהה יותר. קיים מתאם חיובי אך חלש בין גובה הסירה ליחס אורך לרוחב העלה. ניתן לשער שישנם גורמים נוספים שלא נלקחו בחשבון כמו סמיכות הסירה וצורתה המרחבית שמשפיעים מאד על חדירת האור לעומקה או גורמי תחרות אחרים שאינם קורלטיביים לגובה הסירה. מספר העלים גדול יותר באירוסים מחוץ לסירה ובחלקות שמטופלות נגד עשבוניים. השוני במספר העלים מעניין ויתכן שקשור לכמות המשאבים שיש לצמח, למשל בשל התחרות על אור, נוטריאנטים או מים. לסיכום ניתן להסיק מניתוח חתכי הצומח והמדדים המורפולוגיים בתוך ומחוץ לסירה הקוצנית כי האירוס סובל מדחיקה תחרותית מצד הסירה. מצד העשבוניים התמונה פחות ברורה אך מחקרים קודמים מצביעים על מצבי תחרות מצד העשבוניים, למשל ייבוש קרקע מהיר על ידי עשבוניים לעומת שטחים עם צומח מעוצה, מצב שהוכח כמונע התבססות של נבטי צמחים רב שנתיים (Gordon and Rice 1993).

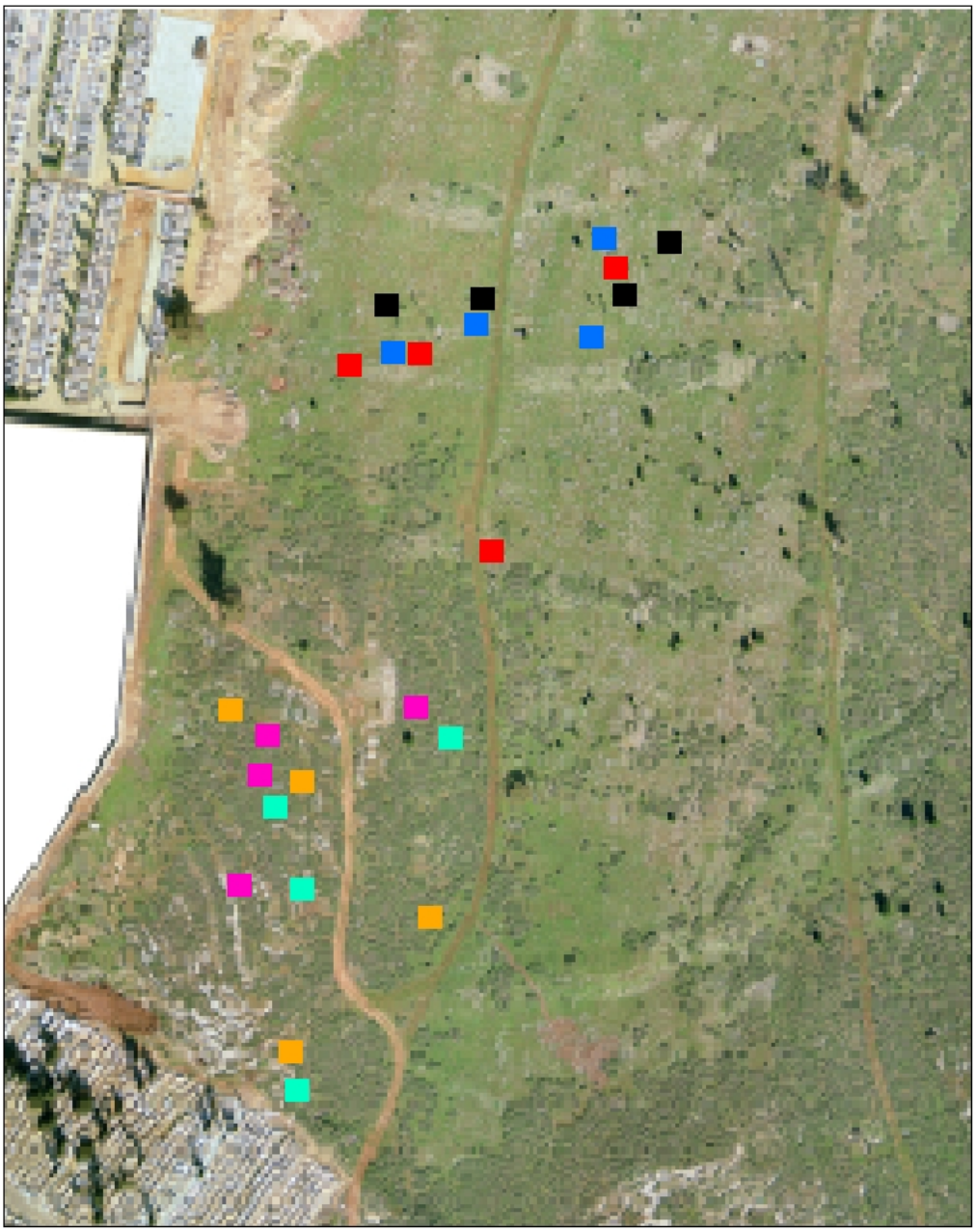
4. בחינת חלופות ממשק לשמורה

4.1 מבוא

בפרק זה יתוארו ניסויים הבוחנים מספר תוכניות לממשק מתערב בשמורה. השיקולים בהחלת ממשק מתערב בשטחים טבעיים מורכבים ממגוון תחומים כלכליים, מעשיים, שיקולי שמירת טבע ומשאבי זמן וכוח אדם מיומן. ההחלטה להחיל התערבות ממשקית גורפת על שמורת טבע מחייבת בדיקת נזקים ויעילות על שטחים קטנים, כפעולה מקדימה לפני קבלת ההחלטות. מסקנות הפרקים הקודמים מצביעות על תחרות והשפעה שלילית של הסירה על האירוס ובמחקרים אחרים על עשבוניים בכלל, המתאוששים לאחר השמדתה (Perevolotsky at al, 2001). מכאן עולה האפשרות שהשמדת הסירה תתרום לשגשוג האירוס. תוכנית ממשק אפשרית היא הקטנת התחרות של הסירה באירוס על ידי סילוק הסירה באמצעים שונים. השינויים בשימושי הקרקע שעברו על השמורה בעשורים האחרונים, בין היתר הפחתת הרעייה, הכריתה, והפסקת החקלאות המסורתית הובילו אותנו להשערה שאולי גם צמחים עשבוניים חד ורב שנתיים שאינם ניתנים לבחינה באמצעות תצלומי אויר משגשגים יותר ומהווים הגברת התחרות לאירוס. תצפיות אקראיות על נזקי טריפת דובון הקורים, טורף טבעי לאזור, מעלה השערה שבפרחים וכפתורים של האירוס ניזוקים על ידו במידה הפוגעת ברבייה המינית של אוכלוסיית הצמח. חלופות הממשק שיתוארו להלן תוכננו

לבחון יעילות סילוק הסירה באמצעים שונים, דיכוי השפעת דובון הקורים, והקטנת צפיפות מתחרים עשבוניים על מדדים שונים של בריאות אוכלוסיית האירוס.

מטרות הפרק: בחינת ההשפעה של ממשק אקטיבי המנטרל תחרות עם האירוס מצד הסירה ועשבוניים חד שנתיים על מספרי הצמחים ודפוסי הפריחה בחלקות ניסוי.



איור 8 – מיקום חלקות המחקר בשטח השמורה על פי הטיפולים השונים. ביקורת עשבייה באדום, השמדת זחלים בשחור, דיכוי עשבוניים בכחול, ביקורת סירה בכתום, גיזום סירה בורוד, ושריפת סירה בטורקיז.

Figure 8 – Locations of the research plots in the reserve by treatment type. Grass control in red, caterpillar extermination in black, grass depression in blue, Prickly Burnet control in orange, Prickly Burnet cutting in pink, Prickly Burnet burning in turquoise.

4.2 תיאור הניסויים

4.2.1 תיאור הטיפולים

השמורה מחולקת בצורה גסה לשני אזורים, האחד עמוס מאד בסירה קוצנית והשני עם כיסוי סירה קוצנית דליל אך עשיר בעשבייה חורפית (ראה איור 3 שטח A ושטח B, בהתאמה). הנחת העבודה היא כי בשל תנאי תחרות שונים, ייתכנו השפעות שליליות ייחודיות על האירוס בכל אחד מין האזורים. לאור הנחה זו, תוכננו שישה טיפולים, שלושה לחלקות בהן גדלה סירה קוצנית ושלושה לחלקות עשבייה. הטיפולים בוצעו לאחר עונת ביקורת באביב 2002 שבה נבחרו ומופו החלקות ללא כל טיפול.

איור 8 מראה את הקצאת החלקות לטיפולים השונים. הטיפולים שתוכננו לחלקות הסירה הם שריפת הסירה, גיזום הסירה וביקורת (ללא כל טיפול). שריפת הסירה הקוצנית בוצעה בסתיו 2002. החלקות נשרפו בצורה מבוקרת על ידי פקח הרשות. לאחר כחודשיים טופלו שיחים שהתאוששו במריחת רעל ראונדאפ בריכוז 25% על הלבלוב. עקב שריפת הסירה, בחורפים הבאים שגשגה העשבייה החד שנתית ורובה טופל בהברשה ידנית בראונדאפ 25%. גיזום הסירה הקוצנית בוצע בסתיו 2002. חלקי הסירה העל קרקעיים נגזמו במגזמת מוטורית ללא מגע בפני הקרקע. המשך הטיפול זהה לטיפול ההמשך בסירה שנשרפה. הטיפולים שתוכננו לחלקות העשבייה הם דילול עשבייה, דיכוי אוכלוסיית דובון הקורים וביקורת (ללא כל טיפול). דילול העשבייה נעשה בשתי צורות, האחת להשמדת עשבוניים דגניים והשנייה לעשבוניים רחבי עלים. להשמדת הדגניים רוססה כל חלקה עד הרטבה בחודשי החורף של 2003-2004 בעזרת מרסס גב ב-2.5 ליטר תמיסת רעל אל-דגן בריכוז 2%. ברוב השטח הוברשו עשבים רחבי עלים חד ורב שנתיים בראונדאפ בריכוז 25%. בניסוי לדיכוי זחל דובון הקורים פוזרו מנות של 200 גרם רעל פיתיון לזחלים ספסן לכל חלקת ניסוי כל שלושה שבועות בחודשי פברואר-מרץ של עונות הניסוי.

4.2.2 חלקות המחקר

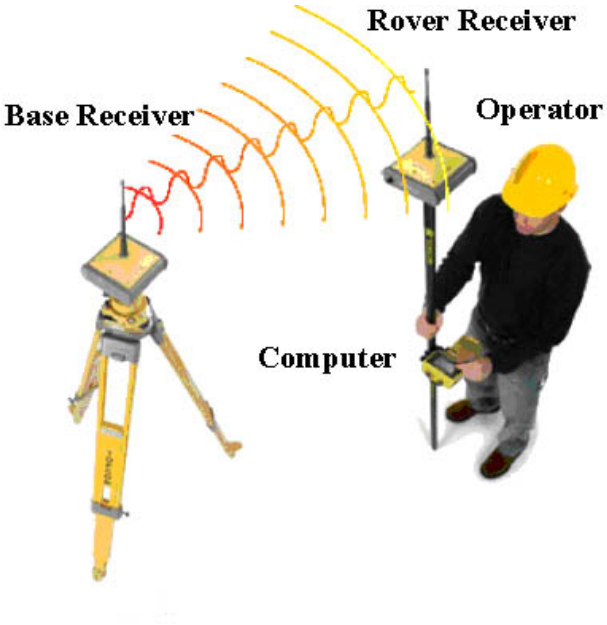
בחירת החלקות נעשתה בחורף 2002. בכל אחד משני שטחי השמורה A ו-B אותרו 12 חלקות עשירות באירוסים בגודל 5x5 מטר. נעשה ניסיון לפזר את החלקות כך שייצגו מגוון בתי גידול בשמורה ולכן הן אינן אחידות מבחינת כסוי המסלע ועומק הקרקע. גודל החלקות נקבע כגדול מספיק כדי שהטיפולים ישפיעו משמעותית על תנאי בית הגידול אך ללא פגיעה נרחבת בשמורה. החלקות תוחמו ביתדות סימון לאפשר מעקב רב שנתי. החלקות סווגו לטיפולים השונים על פי השיקולים הבאים: בשטח A העשיר בסירה קוצנית סווגו החלקות לשלוש קבוצות בנות ארבע חלקות על פי כמות המסלע ועומק הקרקע. החלקות שובצו לטיפולים כך שכל אחד מהם בוצע בטיפוסי המסלע והקרקע השונים. בנוסף לשיקול זה נעשה ניסיון לשבץ את החלקות כך שבכל אחד מהטיפולים ישתתפו מספר אירוסים דומה מבחינת מיקומם יחסית לסירה (בתוך סירה או בגבולה). שיקול נוסף שהיינו רוצים לספק הוא מספר צמחים דומה בכל החלקות אך לא ניתן היה למצוא חלקות כאלה שענו גם על השיקולים הקודמים. בשטח B העשיר בעשבייה סווגו החלקות לשלוש קבוצות בדומה לחלוקה של חלקות הסירה. החלקות שובצו לטיפולים כך שכל אחד מהם בוצע בכל אחד

מטיפוסי הקרקע ובנוסף, שכל אחד מהם יוחל על מספר דומה של אירוסים. גם באזור העשבייה לא ניתן היה למצוא חלקות בעלות מספרי אירוסים דומים.

4.2.3 מיפוי האירוסים בחלקות

מיפוי האירוסים בחלקות התבצע בשלוש עונות שדה נפרדות בחודשי האביב של השנים 2002, 2003, ו-2004. עיקר עבודת השדה התבצע בחודשים מרץ ואפריל בהם הצמחים מגיעים לשיא ההתפתחות העונתית וניתן גם כבר להבחין בכפתור הפריחה בצמחים שעומדים לפרוח. בשנת 2002 מופו מקומי כל הצמחים בחלקות הניסוי תוך ציון הפרמטרים הבאים בכל צמח: פריחה, מיקום הצמח ביחס לסירה, וברוב הצמחים גם עומק הסירה בה הצמח נתון. בשנים 2003 ו-2004 מופו כל הצמחים בצורה דומה ובציון הפרמטרים הנוספים: מספר העלים בצמח, רוחב העלה הרחב ביותר ואורך העלה הארוך ביותר.

המיפוי נערך באמצעות מערכת מיפוי לוויני GPS בשיטת RTK המשתמשת באותות לוויינים הנקלטים בשני מקלטים שונים ומאפשרת חישוב מיקום אחד מהם יחסית לאחר בדיוק אופקי של חמישה ס"מ בתנאים מיטביים (איור 9). המערכת מורכבת ממקלט בסיס (Base) ומקלט נייד (Rover) המחובר למחשב. מקלט הבסיס מוצב במשך כל העבודה מעל נקודה קבועה המהווה נקודת יחוס לכל המדידות. נקודה זו מהווה עוגן שסביבו ממופים האירוסים על רשת מיפוי מקומית. רשת המיפוי מוגדרת על ידי המפעיל למשך כל עונות הניסוי. המקלט הנייד עובר בנקודות המיפוי ומשמש למדידת פרטי הייחוס של כל נקודת מיפוי. ציון הנקודה בשטח נעשה על ידי הצבת מוט ארוך, עליו מותקנת אנטנת המקלט, מעל נקודת המדידה. המקלטים מקושרים ביניהם בצורה אלחוטית לצורך העברה רציפה של נתוני הלוויין ביניהם. חישוב מיקום המקלט הנייד ברשת המקומית מועבר ברציפות למחשב.

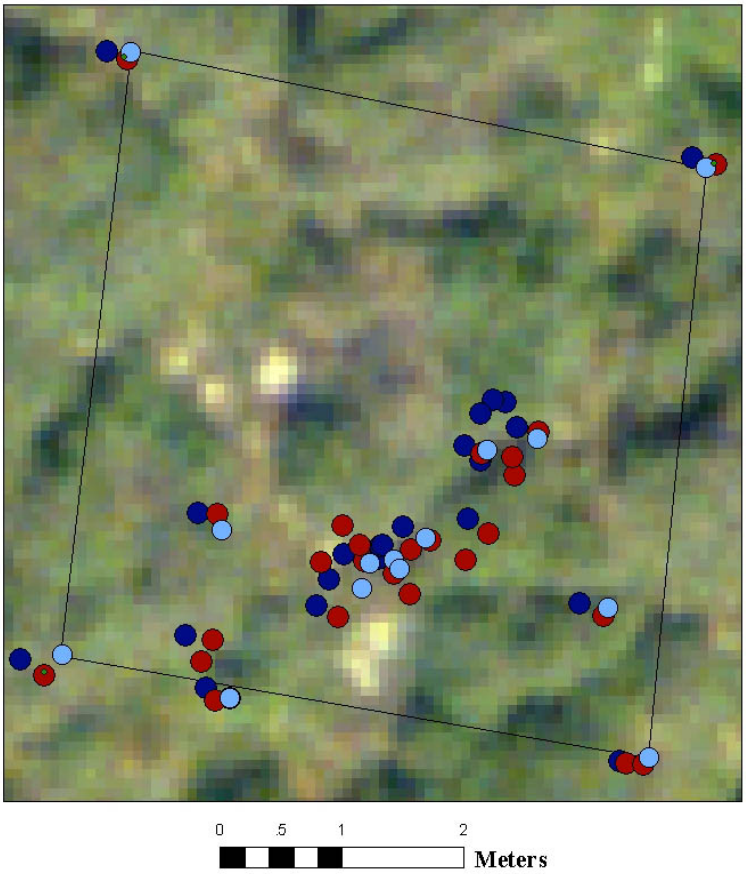


איור 9 - ציור סכמטי מערכת המיפוי הלוויני.

Figure 9 – Schematic diagram of the Global Positioning system

עבודת המיפוי התבצעה על ידי שני מפעילים. האחד נשא את המקלט הנייד וציוד התקשורת בתרמיל על גבו, ובידו אחז את מוט האנטנה, אליו מחובר המחשב (איור 9). מפעיל זה מיקם את מוט האנטנה במאונך בסמוך לצמח הממופה, ציין ביצוע המדידה במחשב, והזין לתוכו את נתוני הצמח שנמדדו על ידי המפעיל השני. חישוב מיקום בדיוק מרבי על ידי המערכת אינו מיידי. להגעה לדיוק נדרש יש להחזיק את מוט האנטנה בנקודת המיפוי ללא תזוזה עד להשגת רמת הדיוק הרצויה. סף הדיוק נקבע לס"מ אחד (מעבר לשגיאת המערכת). על מנת למנוע פגיעה בצמחים בעת המדידה, הוצבה האנטנה לידם ולא במקומם המדויק. עובדה זו מעלה את רמת אי דיוק מדידת מקום צמח בודד בכחמישה ס"מ. קושי במציאת נקודת הצבה יציבה לאנטנת המשדר, בעיקר בחלקות סלעיות ומשופעות ובמקרים של צמחים שצמחו בחריצי סלעים, הוסיפה לאי דיוק המיפוי של צמחים מסוימים. הצבת האנטנה שלא במאונך היא מקור שגיאה אפשרי נוסף של מספר ס"מ. ניתן להעריך אם כך את השגיאה האפשרית במיקום צמח בודד בכעשרה ס"מ בממוצע. איור 10 מציג את המיפוי בשלושת עונות המחקר בחלקה דלילה יחסית באירוסים. מיקומי הצמחים משנים שונות שניתן לשייכם לאותו צמח מופיעים במרחקים של עד 30-20 ס"מ זה מזה. עובדה זו מרמזת ששגיאות המיפוי עלולות להיות גדולות בהרבה משגיאות המדידה, בין היתר עקב דיוק העבודה של מפעילי המערכת בשטח ואופי המיפוי. חשוב לציין שגם שגיאות מיפוי גדולות לא בהכרח פוגמות בשיוך מיקומים משנים שונות לאותו צמח. שיוך נכון ניתן לבצע גם במקרים כאילו על ידי עבודה בהפרדה גבוהה ובשימוש בנתוני המאפיינים המורפולוגיים שלא הוצגו באיור 10 למען בהירות האיור. באזורים מסוימים צפיפות הצמחים לא אפשרה מיפוי פרטני של כל צמח וצמח. במקרים כאילו מופו באותה נקודה קבוצות קטנות של צמחים (2-5) בעלי אפיונים מורפולוגיים דומים. נעשה ניסיון לקבץ את אותן קבוצות צמחים בכל עונות שדה אך במקרים רבים לא יושמה שאיפה זו עקב קשיים בשטח. מיפוי צמחים במקובץ מונע

אפשרות קישור פרטני של מיקומי הצמחים בין המיפויים בשנים השונות. גם במקרים של מיפוי צמחים בודדים לא תמיד ניתן לשייך מקום צמח מסוים בין השנים השונות בוודאות. נראה שהרווח האופקי המינימאלי הנדרש לזיהוי ודאי של צמחים על גבי המפה בשנים השונות הוא כ-20 ס"מ בין הצמחים, ובתלות במיומנות של מפעילי המערכת.



איור 10 - חלקה עם נתוני מיקום האירוסים משלוש עונות המיפוי. מיקומי הצמחים מיוצגים על ידי עיגולים בצבע שונה לכל עונה. העיגולים בפינות החלקה מסמנים את יתדות הברזל המשמשות לסימונה.

Figure 10 – A plot with the Iris locations data from the three mapping seasons. Locations of the plants are represented by circles with different colour for each season. The circles at the corners of the plot mark the metal pegs that are used to mark its location.

4.3 בחינת השינויים במספרי הצמחים בחלקות

4.3.1 מבוא

הניסויים בחלקות נועדו לבדוק חלופות ממשק העשויות לשפר את מצב אוכלוסיית האירוס בשמורה. אחד ההיבטים לשיפור מהיר במצבה של אוכלוסיה הוא ריבוי חיובי במספר הצמחים. עקב הריבוי הווגטטיבי

הרב באירוס הנצרתי הייתה ציפייה לתגובה מהירה בחלקות בעקבות הטיפולים. הסרת גורמי התחרות אמורה לשפר את מצב האירוס בחלקות הטיפול בשל הגברת זמינות משאבים לאירוס כגון מים וקרינה. השאיפה בעיבוד נתוני הניסוי בחלקות הייתה עיבוד נתונים ברמת הצמח הבודד על ידי קישור בין מפות שנות הניסוי השונות והבנת גורלו של כל פרט בין כל שתי עונות פעילות. לדוגמא, אם הצמח שרד, נעלם, או אם הופיע צמח חדש שלא נצפה בעונה קודמת. נתונים כאלה היו מאפשרים הכנת טבלאות חיים (Begon et al 1996) לצורך הכנת מודל ניבוי לשינויים בדינאמיקת האוכלוסייה על פי הצעות הממשק השונות. כבר בעת העבודה בשטח היה ברור שרמת פירוט כזו לא תמיד אפשרית. כפי שהוזכר בתחילת הפרק, בשל הצפיפות בחלק מהחלקות קובצו לפעמים צמחים ומופו יחד. קיבוץ הצמחים בוצע על פי שקולים אקראיים בשטח ולכן לא תמיד בוצע קיבוץ זהה בכל עונות השדה. בשלב עיבוד הנתונים הסתבר שברוב המקרים קשה לשייך נקודות על גבי מפות השנים השונות כשייכות לאותו צמח בצורה חד-חד ערכית. ככל שצפיפות הצמחים בחלקות גדולה יותר והמרחקים בין נקודות קרבים לטעות המדידה כך שיוך נקודות בשלוש שנות הניסוי לאותו צמח ודאי פחות.

4.3.2 שיטות

בשל הבעיות הרבות של ישום הניתוח ברמת הפרט הוחלט שיש מקום לניתוח הנתונים ברמות הפרדה נמוכות יותר של ניתוח השינויים במספרי הצמחים, דהיינו לרמת מספרי הצמחים על פי חלקות, או אף על פי טיפולים. לגישה זו יתרון בכך שמספרי הצמחים הכלליים בחלקות לא מושפעים מטעויות המיפוי. החיסרון של עבודה ברמת ההפרדה נמוכה מרמת הפרט הוא התקזזות אירועי תמותה וריבוי אלה באלה. כמו כן, בניתוח חלקות סירה קוצנית, ממוסכים שינויים באזור מסוים בחלקה שהגיב לטיפול על ידי שינויים באזור אחר שכלל לא הושפע מטיפול כיוון שלא היה בתוך סירה קוצנית. חיסרון נוסף של עבודה ברמת החלקה הוא מיעוט דרגות החופש והעוצמה הסטטיסטית הנמוכה הנגזרת ממנו.

לבדיקה כמותית של השינויים שחלו במספרי הצמחים בחלקות נספרו מספרי הצמחים בכל חלקה מהמפות של כל עונות השדה. המספרים לוקטו ידנית מתוך טבלאות שכבות מיפוי הצמחים כפי שהועלו לתוכנת ArcView. לכל חלקה חושבו ההפרשים בין מספרי הצמחים בשנים 2004 ו-2002. כמו כן חושבו היחסים התואמים (מנת החלוקה של מספר צמחים בעונה 2004 במספר הצמחים בעונה 2002). השימוש בשני מדדים שונים (הפרשים ויחסים) מאפשר משקול שונה של התוצאות בניסוי בו החלקות שונות מאד במספרי הצמחים בהם (דיון בשיקולים לבחירת החלקות ניתן בפרק 4.2.2). בשימוש במדד ההפרשים, שינויים יחסיים קטנים בחלקות עשירות באירוסים עלולים לקבל משקל גדול יותר משינויים יחסיים גדולים בחלקות עניות באירוסים. לעומת זאת בעת שימוש במדד היחסים עלולים לקבל משקול גבוהה שינויים אקראיים קטנים יחסית בחלקות עניות באירוסים. קבוצת הניסוי בשטח הסירה כוללת את חלקות הגיזום והשריפה וחלקות הביקורת מהוות את קבוצת הביקורת. חלקות הניסוי בשטח העשבייה היו החלקות בהן הושמדה העשבייה וחלקות הזחלים והביקורת מהוות את קבוצת הביקורת. השערה H_0 היא כי הטיפולים אינם משפיעים על מספרי הצמחים בחלקות. לפי השערה זו הבדלים בין מדגם ההפרשים במספרי הצמחים

בחלקות הניסוי למדגם ההפרשים במספרי הצמחים בחלקות הביקורת הם אקראיים. בחינת השערה זו למול השערה H_1 כי ההבדלים בין מדגמי ההפרשים הם עקב הטיפולים נבחנה באמצעות מבחן Mann-Whitney (Desu and Raghavarao 2004; Sokal and Rohlf 1995 וגם פרק 7.1.2 בנספח) בשימוש פונקצית ranksum של תוכנת Matlab. המבחן הוא חד צדדי והסתברות קטנה מ-0.05 לדחיית ההשערה H_0 הוגדרה כמובהקת סטטיסטית.

4.3.3 תוצאות

טבלה 6 מציגה את מספרי הצמחים בכל החלקות בשלוש עונות הניסוי, סיכום מספרי הצמחים בכל שנה על פי הטיפולים השונים וכן סיכום כללי לכל שנה. בטבלה ניכרות עליות וירידות חזקות, בחלקן ללא מגמה בולטת בין כל שלושת העונות, דבר המרמז על שונות רב שנתית טבעית גבוהה. התנודות הטבעיות הגדולות במספרי הצמחים מהוות "רעש" לעבודה הסטטיסטית המנסה למצוא את האות האפשרי כתגובה להסרת הסירה והעשבייה. בחלקות הסירה מיקרים רבים של עלייה במספרי הצמחים, בייחוד בחלקות הגיזום והשריפה. עלייה זו מתבטאת בתוספת של 108 צמחים בחלקות הטיפול בשנת 2004 לעומת שנת 2002, לעומת ירידה תואמת של 21 צמחים בחלקות הביקורת. בחלקות העשבוניים מיקרים רבים של ירידות במספרי הצמחים המתבטאות בירידות של 107, 168, ו-275 בחלקות הביקורת, השמדת הזחלים והשמדת העשבייה בהתאמה. בגלל מיעוט הפריחה בחלקות השמדת הזחלים והעדר פרחים פגועי זחלים לא נכללו תוצאות הניסוי הזה בעיבוד הנתונים מלבד שימוש בחלקות אלה כביקורת לחלקות השמדת העשבוניים.

תוצאות המבחנים הסטטיסטיים לבחינת ההבדלים בהפרשים במספרי הצמחים בין חלקות הביקורת והטיפולים ניתנות בטבלה 7. ניכרת עלייה גבולית מבחינת מובהקות סטטיסטית ($p=0.0586$) במספרי הצמחים בחלקות השמדת הסירה מול חלקות הביקורת. לא נמצאה תוצאה מובהקת במבחן שבוצע עבור היחסים. במבחן שבוצע למספרי הצמחים בחלקות השמדת העשבייה לעומת חלקות הביקורת והשמדת הזחלים לא נמצא הבדל מובהק בין קבוצת הביקורת והטיפול הן בבחינת ההפרשים והן בבחינת היחסים.

טבלה 6 - מספרי הצמחים בחלקות בשלוש עונות המחקר.

Table 6 – The number of plants in the plots in the three research seasons.

חלקות עשבוניים					חלקות סירה				
		מספרי צמחים					מספרי צמחים		
טיפול	**מס' חלקה**	2002	2003	2004	**טיפול**	**מס' חלקה**	2002	2003	2004
ביקורת	**13**	90	74	87	**ביקורת**	**1**	82	102	84
ביקורת	**16**	126	49	46	**ביקורת**	**3**	63	75	58
ביקורת	**19**	63	57	90	**ביקורת**	**8**	51	39	28
ביקורת	**22**	152	121	101	**ביקורת**	**10**	15	21	20
זחלים	**15**	205	191	149	**גיזום**	**2**	41	61	62
זחלים	**18**	77	77	20	**גיזום**	**4**	43	53	50
זחלים	**21**	135	102	103	**גיזום**	**7**	103	135	103
זחלים	**24**	33	24	10	**גיזום**	**12**	22	22	56
עשביה	**14**	216	183	30	**שריפה**	**5**	37	45	23
עשביה	**17**	42	30	24	**שריפה**	**6**	128	51	130
עשביה	**20**	100	138	45	**שריפה**	**9**	31	75	65
עשביה	**23**	74	114	58	**שריפה**	**11**	26	21	50
סיכום ביקורת		431	301	324	**סיכום ביקורת**		211	237	190
סיכום זחלים		450	394	282	**סיכום גיזום**		209	271	271
סיכום עשביה		432	465	157	**סיכום שריפה**		222	192	268
סיכום עונה		1313	1169	763	**סיכום עונה**		642	700	729

טבלה 7 - המובהקות הסטטיסטית לשינויים במספרי הצמחים בחלקות.

Table 7 – The statistical significance of the differences in the plant numbers in the plots.

	הפרש מספרי	**יחסים**
חלקות סירה קוצנית	0.0586	0.10705
חלקות עשבייה	0.46665	0.28485

4.3.4 דיון

רמת הדיוק במיפוי החלקות לא אפשרה ניתוח ברמת הפרט שהיה תורם להבנה טובה יותר של השינויים במימדי האוכלוסייה. יתכן וניתוח ברמת הפרדה גבוהה יותר היה מתאפשר בחלקות דלילות או קטנות יותר. בנוסף, הגדלת מספר החלקות על חשבון שיטחן היה גם מגדיל את העוצמה הסטטיסטית של המבחנים. המגמות שניכרות בתוצאות מרמזות שטיפולים להשמדת הסירה אכן יעילים להגדלת אוכלוסיית האירוס אך משך שנות הניסוי לא הספיק לתגובה ניכרת מבחינה סטטיסטית של האוכלוסייה לניסוי. הירידה החזקה במספרי הצמחים בחלקות השמדת העשבייה מעלה חשד שהטיפול הגביר את פעילות החולדים בחלקות. סימני פעילות החולדים ניכרו בחלקות אלה בתילי קרקע רבים ועשרות צמחי אירוס קצוצים מצוואר השורש בחלקות אלה. ניתן לשער שהשמדת העשבייה חשפה את פני הקרקע הכהים ויצרה סביבת פעולה חמה ונוחה יותר עבור החולדים. סייג נוסף לעבודה שבוצעה בפרק זה עולה מהתנודות החריפות של מספרי האירוסים בחלקות. התחושה היא שמיפוי החלק העילי של הצמח ברגע מסוים בזמן אינו משקף את כל הפרטים לעונה זו. פרטים שעלוותם לא מופיעה על פני השטח עשויים להיות נפקדים רק זמנית ויתאוששו בהמשך העונה או בעונה הבאה לאחריה.

4.4 בחינת שינויים בדפוס הפריחה בחלקות

4.4.1 מבוא

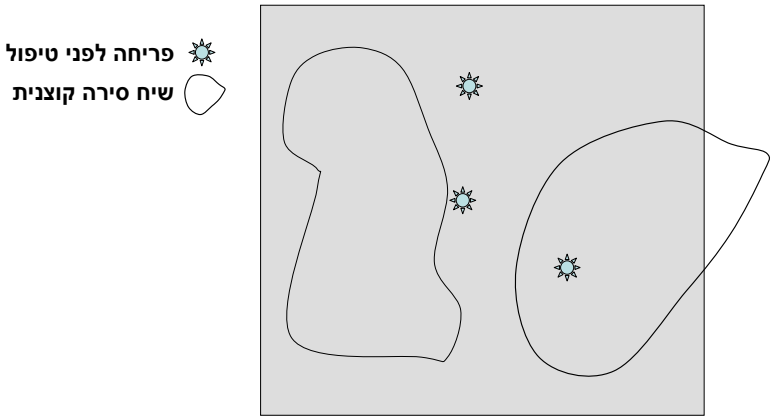
כמו כל אירוסי ההיכל, האירוס הנצרתי מצטיין ביופי פריחתו ועליה עומד ערכו כמוקד משיכה למטיילים בשמורה. הפריחה היא גם אחד הגורמים הראשוניים הקובעים את פוטנציאל הרבייה המינית החשובה לקיום אוכלוסיית המין לאורך זמן. פריחת צמחים היא נגזרת של משאבי בית הגידול בכלל ואור בפרט (McCree and Loomis 1969). רוב מסת הפרח הינה רקמה לא יצרנית ובעלת שטח פנים רב הגורם להגברת שטח הדיות של הצמח ואיבוד מים מוגבר. יצור הפרח תובע משאבים רבים מהצמח והפריחה נפגעת בתנאי תחרות, מחסור במים, אור או נוטריאנטים. בחלק זה ננסה לבחון רגישות דפוסי הפריחה של האירוס לנטרול הסירה כגורם תחרות. שאלה ספציפית היא האם שעורי הפריחה ומקומי הפרחים משתנים בעקבות נטרול גורמי תחרות פוטנציאליים. יש לזכור שהמערכת האקולוגית הים תיכונית, למרות המשטר האקלימי הדו עונתי הקבוע יחסית, נתונה לתנודות ניכרות, במיוחד בכמויות ופיזור המשקעים. שינויים שנתיים בדפוסי הפריחה צפויים להתרחש אם כך גם בצורה טבעית. בצמחים רב שנתיים בכלל ובגיאופיטים בפרט יש עיכוב בתגובת האוכלוסייה לשינוי במשאבי בית הגידול. לדוגמא, גליל (1961) צפה גידול ניכר בשיעורי פריחה כתלות במשקעים/תנאים בשנה ההידרולוגית הקודמת. יש לקחת שינויים טבעיים אילו בחשבון בעת ניתוח השינויים האפשריים עקב התערבות אנושית.

4.4.2 שיטות

במהלך המיפוי בחלקות תועדו הפרטים הפורחים בחלקות וציון פריחה מופיע בין יתר האפיונים שנמדדו לכל צמח ממופה. במהלך סריקת המפות נבדקו מספרי הפרחים בכל חלקה בעונות המיפוי 2002, 2003 ו-

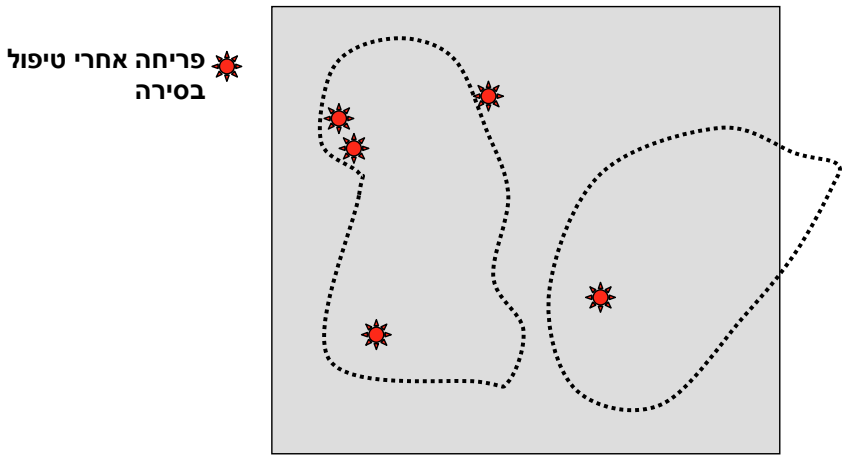
2004. מעקב פריחה נוסף בוצע בשנת 2006. מעקב זה בוצע רק בחלקות הסירה, בהן צפויה השפעת הטיפולים להמשך משך שנים אחדות. גיזום ושריפת הסירה בוצע בחלקות הטיפול בקיץ 2002. השפעה על הפריחה באביב 2003 צפויה להיות מועטה, אם בכלל. הפריחה בשנת 2004 הייתה דלה ולכן עבודה סטטיסטית עליה אינה אפשרית עקב מיעוט נתונים בחלקות הביקורת והטיפול (טבלה 8 וטבלה 15 בנספח). ניתוח השינויים בפריחה בוצע אם כך על ידי השוואת מספרי פרחים בשנת 2006 למספרי הפרחים שנדגמו בשנת 2002.

הניתוח הסטטיסטי בוצע בשתי גישות. הגישה הראשונה מתייחסת לכל חלקה כאל יחידת דיגום. בכל חלקה חושב ההפרש בין מספרי הפרחים בשנת 2006 למספר הפרחים בשנת 2002. השערה H_0 היא כי הסירה הקוצנית אינה משפיעה על מספרי הפרחים. לפי השערה זו הבדלים בין מדגם ההפרשים בפריחות בחלקות הניסוי למדגם ההפרשים בפריחות בחלקות הביקורת הם אקראיים. בחינת השערה זו למול השערה H_1 כי ההבדלים בין מדגמי ההפרשים במספר הפרחים הם עקב הסרת הסירה נבחנה באמצעות מבחן Mann-Whitney (Desu and Raghavarao 2004; Sokal and Rohlf 1995 וגם פרק 7.1.2 בנספח). בשימוש פונקצית ranksum של תוכנת Matlab. המבחן הוא חד צדדי והסתברות קטנה מ-0.05 לדחיית ההשערה H_0 הוגדרה כמובהקת סטטיסטית. חולשתה של גישה זו היא עוצמת מבחן נמוכה עקב הגודל המצומצם של מדגמי הטיפול והביקורת. הגישה השנייה מגדילה את עוצמת המבחן על ידי התייחסות פרטנית לכל נקודה בחלקות שבה נצפתה פריחה בשנים 2002 ו/או 2006. כל נקודה כזו מוגדרת כאתר פריחה. פרחים בודדים שמופו בשנים השונות בנקודות קרובות (עד 30 ס"מ) סווגו לאותו אתר. מקבץ פרחים צפוף הוגדר כמספר אתרים באותה נקודה גיאוגרפית. גידול בפריחה הוגדר כפריחה בשנת 2006 באתר שבו לא נצפתה פריחה בשנת 2002 (הצלחה). מקרים בהם נצפתה פריחה באתר בשתי השנים או רק בשנת 2002 סווגו ככישלון (ראה איור 11). בחינת ההשערה H_1 שמספר הפרחים גדל בעקבות הטיפולים בוצעה על ידי השוואת שיעור ההצלחות בנקודות שהוגדרו כמושפעות על ידי הטיפול לשיעור ההצלחות בנקודות שהוגדרו כביקורת. הבחינה נערכה באמצעות המבחן המדויק של Fisher (Desu and Raghavarao 2004; Sokal and Rohlf 1995 ופרק 7.1.3 בנספח) בצורה חד-צדדית. מובהקות סטטיסטית הוגדרה כהסתברות קטנה מ-0.05 לדחיית H_0.


פריחה לפני טיפול
שיח סירה קוצנית

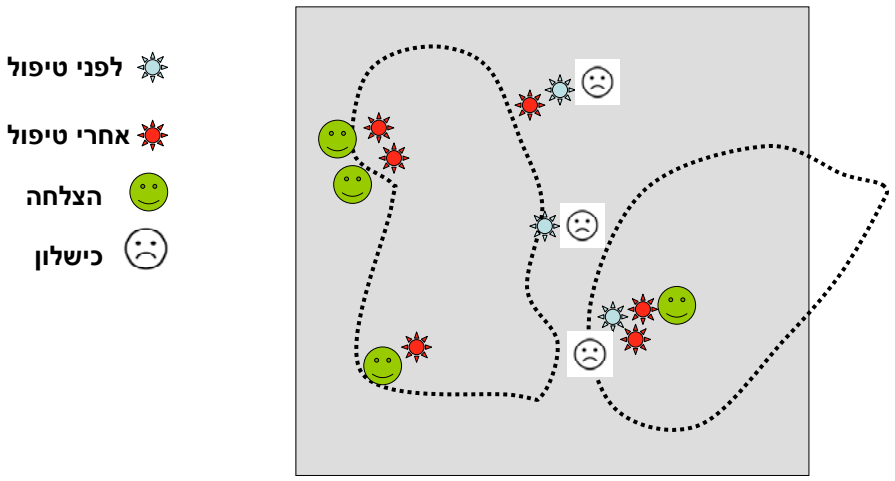
א

a


פריחה אחרי טיפול בסירה

ב

b


לפני טיפול
אחרי טיפול
הצלחה
כישלון

ג

c

איור 11 - הדגמת מושג אתר הפריחה וסיווגי הצלחה וכישלון בחלקה סכמטית. אתר פריחה הוא מיקום של פרח או קבוצת פרחים שפרחו בחלקה בשנת 2002 או 2006 במרחק שלא עולה על 30 ס"מ זה מזה. א- פריחה בחלקה לפני טיפול בסירה בשנת 2002. ב- פריחה בחלקה לאחר טיפול בסירה בשנת 2006. ג- סופרפוזיציה של שתי שכבות המידע לצורך חישוב מספר הכישלונות וההצלחות בחלקה. הצלחה מוגדרת כהופעת פרח ב-2006 באתר בו לא אותר פרח בשנת 2002, או כל תוספת במספר הפרחים בשנת 2006 יחסית למספר הפרחים בשנת 2002 באתר. כישלון הוא הקטנה או אי הגדלה במספר הפרחים באתר.

Figure 11 – Demonstration of the term "flowering site" and the sorting to success or failure in a schematic plot. A flowering site is the location of a flower or a group of flowers appearing in the plot in 2002 or 2006 at a distance of less than 30 cm apart. a – flowering in the plot in 2002 before the removal of the Prickly Burnet. b- flowering in the plot in 2006. c – Superposition of the two maps for the purpose of calculating the numbers of successes and failures in the plot. A success is defined as appearance of a flower in 2006 at a site in which there was no flower in 2002 or any addition to the number of flowers in the site in 2006 compared to the number in 2002. A failure is a reduction or a steady state in the number of flowers in the site.

4.4.3 תוצאות

טבלה 8 מציגה את סך כל מספרי הפרחים בחלקות הביקורת לעומת חלקות הטיפולים בסירה הקוצנית בשנים 2002, 2003, 2004 ו-2006. שינויים גדולים במספר הפרחים ניכרים בין השנים השונות ומצביעים על השונות הרב שנתית הטבעית הגבוהה, התנודות טבעיות הגדולות במספרי הפרחים מהוות "רעש" לעבודה הסטטיסטית ומקשות על מציאת האות האפשרי כתגובה להסרת הסירה. בשנת 2006 ניכר גידול עצום במספרי הפרחים גם בחלקות הטיפול וגם בחלקות הביקורת. השפעת הטיפול צפויה אמנם להגיע לשיא רק לאחר מספר שנים, אולם הפריחה המוגברת גם בחלקות הביקורת מצביעה לכוון האפשרות שהגידול בשיעור הפריחה בשנה זו הוא תוצאת השפעות טבעיות בלבד. תוצאת המבחן בגישה הראשונה (על פי חלקות) אינה תומכת בדחיית אפשרות זו. ההסתברות לדחיית ההשערה H_0 היא $p=0.24$ בהשוואה של פריחת 2006 לפריחה ב 2002. על פי דיגום בשנת 2007 (שלא נכנס לעיבוד נתונים זה) אין ספק שהגדלת מספר הפרחים על פי שיטת "אתר פריחה" תהיה מובהקת סטטיסטית (טבלה 13).

טבלה 8 - סך כל מספרי הפרחים בחלקות הביקורת לעומת חלקות הטיפולים בסירה הקוצנית בשנים 2002, 2003, 2004 ו-2006.

Table 8 – The number of flowers in the Prickly Burnet treatment plots and their control plots in the years 2002, 2003, 2004 and 2006.

	2002	2003	2004	2006
ביקורת	5	7	0	18
גיזום/שריפה	14	2	4	75

גישת הניתוח השנייה מתחילה בספירת מספר האתרים בהן נצפו הצלחות. אתרי הפריחה כפי שהוגדרו למעלה סווגו לארבע קבוצות: (1) אתרים בחלקות ביקורת, (2) אתרים בחלקות טיפול במקומות בהם הייתה סירה והושמדה, (3) אתרים בחלקות טיפול בגבול סירה קוצנית שהושמדה, (4) אתרים בחלקות טיפול במקומות ללא סירה קוצנית. טבלה 9 מכילה את שיעורי ההצלחות בקבוצות האתרים השונות.

טבלה 9 - מספר ההצלחות (הגדרה מפורטת בפרק 4.3.2) בקבוצות אתרי הפריחה השונות.

Table 9 – The number of successes (see definition in the text) in the various flowering site groups.

	מיקום האתרים	מספר הצלחות	גודל המדגם
1	בחלקות ביקורת	14	19
2	בחלקות טיפול, בתוך סירה	53	61
3	בחלקות טיפול, בגבול סירה	16	20
4	בחלקות טיפול, ללא סירה	16	17

תוצאת מבחן פישר המדויק בו הושוותה פרופורציית ההצלחות באתרי הביקורת (קבוצות 2, 3, ו-4 בטבלה 9) ואתרי הטיפול (קבוצה 1 בטבלה 9) גבולית ואינה מובהקת ($p = 0.137$) אך המובהקות חזקה יותר מגישת המבחן הראשונה על פי חלקות. הגדלת העוצמה הסטטיסטית בגישת המבחן השנייה איפשרה השגת מובהקות חזקה יותר אך לא מספיקה לדחות את השערת H_0 שההבדל בפריחה בין חלקות הניסוי לביקורת הוא אקראי.

4.4.4 דיון

התוצאות בשתי גישות המבחן השונות לא מצביעות בצורה סטטיסטית מובהקת על גידול בפריחה בחלקות הטיפול לעומת חלקות הביקורת. עם זאת, ראוי לציין שנצפה גידול בפריחה בשתיים מחלקות הטיפול בעוצמה שלא קיימת באף אחת מחלקות הביקורת (חלקות 11 ו-12, ראה טבלה 15 בנספח). הרושם הוא שהאזור בו נמצאות חלקות טיפול אלה שונה. הסירה הקוצנית בו גבוהה יותר וקיבולת המים בקרקע גבוהה

יותר. ייתכן ועומק הקרקע באזור זה גדול יותר ופוטנציאל הגידול בו לצמחים משופר. פריסת הצמחים בחלקות 11 ו-12 התרחבה כנראה תודות לריבוי וגטטיבי מוגבר. פרחים חדשים הופיעו במקומות שלא היו מאוכלסים בצמחים בשנת 2002. גידול נוסף בחלקות אלה ובחלקות אחרות שלא הגיבו לניסוי יתכן בעתיד. בחינת דפוס הפריחה לא תוכננה מראש ובוצעה כתוצר לוואי של מיפוי הצמחים בחלקות. כתוצאה מכך מספר הפרחים הכולל הוא נמוך ועוצמת המבחנים הסטטיסטיים נמוכה. מסקנה חשובה מפרק זה היא שחזרה על ניסוי בשיעורי פריחה צריכה להתבצע על יותר אתרי פריחה, ניתן להסתפק בחלקות ניסוי קטנות יותר אך להגדיל את מספרן.

5. חקר הרבייה המינית של האירוס

5.1 מבוא

האירוס הנצרתי מתאפיין בריבוי וגטטיבי באמצעות שלוחות קנה שורש תת קרקעיות בסוף עונת הצמיחה (Harper 1977) . רבייה באמצעות קנה שורש מחייבת רצף של בית הגידול ואינה יכולה לעבור סלעים. כמו כן, שלוחת קנה השורש נושאת עימה את מחלות צמח האם ורגישה לטריפת שורשים. רבייה מינית על ידי חנטת פירות ויצירת זרעים הם שלבים משמעותיים עבור צמחים פורחים, גם עבור אלה המצטיינים כאירוס הנצרתי ברבייה וגטטיבית. הרבייה המינית באירוסי ההיכל (כפי שמתבטאת באחוזי חנטת פירות) מועטה. צמחים רבים סובלים ממגבלות האבקה ספיר וחובריו (2001) שיערו שהפוריות הנמוכה היא תוצאה של בידוד וקוטן האוכלוסיות, ואי התאם עצמי (מכניזם המונע רביית קרובים בצמחים פורחים). עדויות לאי התאם עצמי באירוסי היכל נבדקו והוכחו באירוסי היכל אחרים (*I. atrofusca*, *I.* , *atropurpurea*, and *I. hermona* Sapir et al. 2005), וסביר להניח שהאירוס הנצרתי מתאפיין אף הוא בתכונה זו, המהווה גורם מגביל ביצירת זרעים. רבייה מינית מועטה עלולה להיות תוצאה של יעילות נמוכה בפעולת המאביקים בשל הפיזור המרחבי בקלונים. הקלונים מטבעם בעלי מגוון גנטי נמוך וכפועל יוצא מכך יש פחות סיכויים להתאם גנטי בין הפרחים המאביקים לפרחים המואבקים (Charpentier (2001; Wolf and Harrison 2001; Lennartsson 2002). מימד נוסף לחשיבות הערכת מצב הרבייה של האירוס הוא בדמות איום ל"משבר האבקה" ("pollination crisis", Allen-Wardell et al. 1998) משבר האבקה מוגדר כמצב של פגיעה ברבייה המינית בצמחים בעלי המאפיינים הבאים:

1. אי התאם עצמי שיכול יחד עם התנהגות המאביקים להגביל את הרבייה המינית (Charlesworth et al, 2005).
2. ההאבקה מוגבלת בגלל מיעוט מאביקים או פעילות נמוכה שלהם(buchmann and Nabhan, 1996)
3. ההאבקה מוגבלת בגלל יצור אבקה נמוך או משך חיים קצר של הגרגרים(Ashman et al., 2004).
4. הגבלה על זמינות משאבים שמגבילה את יצור הזרעים (Harper, 1977)

אפיונים נוספים של האירוס בשמורה הוא בידוד האוכלוסייה והקשר הרופף של המאביק לפרח. עיון בהגדרות אלה ואפיונים נוספים שעלולים לפעול לרעת האוכלוסייה בשמורה בנושא הרבייה המינית החשש לקיומו של האירוס בשמורה ומכאן עולה גם השאלה איזה מהשלבים במנגנון ההאבקה עלולים להוות מכשול בתהליך הרבייה המינית. זכרי המחושית נצפים ישנים גם במיני פרחים רבים אחרים ואינם תלויים באירוס. החשש לקיומו של משבר האבקה בשמורה ואולי אף באזור נצרת כולו מביא לצורך לבדוק את שיעורי הרבייה המינית אם ישנה, ולהשוותה לאוכלוסיות אחרות.

לרבייה המינית חשיבות אקולוגית רבה בגלל מספר תפקידים בלעדיים המשפיעים על שרידות האוכלוסייה בטווח הקצר והארוך.שלוחות קנה השורש שיוצר הצמח לצורך רבייה וגטטיבית משבטת אותו לקלון של פרטים זהים לו מבחינה גנטית. רבייה מינית יכולה להתרחש בין צמח זכר המרוחק פיזית עשרות מטרים ויותר מצמח הנקבה באמצעות חרקים כצרעת המחושית או חיפושית האמפיקומה הנושאים את האבקה למרחקים. פעילות המאביקים בשילוב עם מנגנון אי התאם העצמי מביאים לרבייה מינית בין פרטים מרוחקים גנטית ותורמים להגדלת מגוון הצאצאים. מאחר ולכל זרע הרכב גנטי ייחודי, לצמחים המתפתחים מזרעים מגוון גנטי רחב החשוב לשרידת האוכלוסייה והתאמתה לשינויים סביבתיים ובתי גידול חדשים.

יתרון נוסף של הרבייה המינית הוא בפוטנציאל ההתפשטות המרחבית של האוכלוסייה. ברבייה וגטטיבית ריחוקם של צמחי הבת מהצמח הוא בדרך כלל עד כמטר אחד. לזרעי האירוס עטי (Aril או Eliosome) המשמש כמאכל לנמלים. הן אוספות את הזרעים ומעבירות אותם על פני מרחקים גדולים. זרע שהועבר על ידי נמלים יכול להתפתח לצמח אם, ולקלון חדש באזור ששלוחות שורש לא יכולות להגיע אליו (למרחקים גדולים או מעבר לסלעים ששלוחה לא יכולה לצמוח דרכם). עוד יתרון לרבייה מינית הוא יכולת ההישרדות הגבוהה של הזרעים. הזרעים נתונים בתרדמה ויכולים לשרוד קטסטרופות שונות כמו תקופות בצורת, שריפות, רמיסות, אכילה על ידי טורפים שונים ועוד. במקביל ליתרונות שהוזכרו, הזרע נקי ממחלות השורש והעלה בהן נגוע צמח האם ולכן מושבות חדשות שנוצרו מזרעים יהיו נקיות ממחלות אלה.

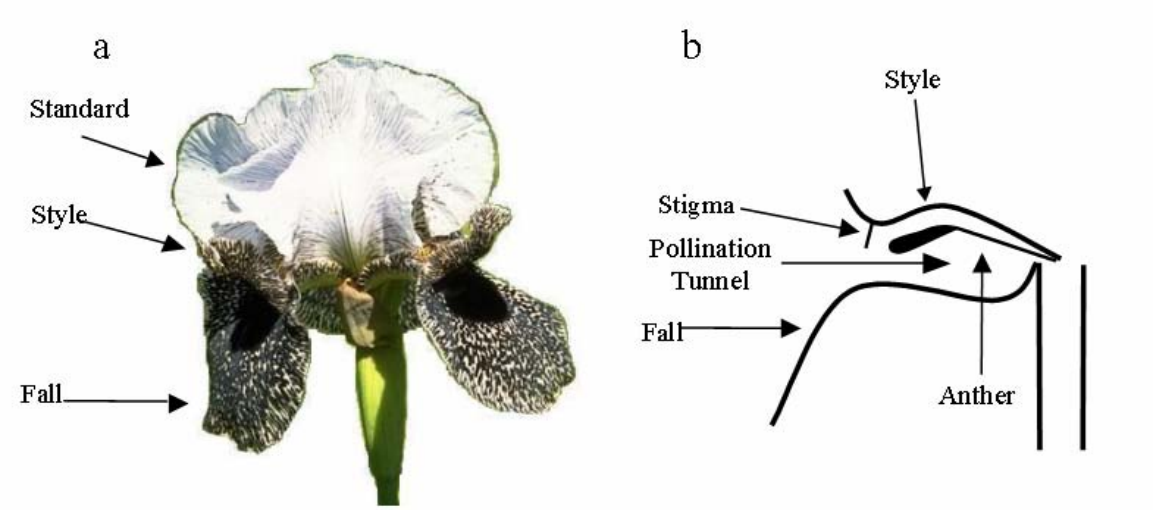
אורבניזציה ופיתוח מהיר בהרי נצרת גרמו להרס וקיטוע באוכלוסיות האירוס שכעת מוגבלות למספר כתמים מבודדים ומקוטעים על ידי כבישים ואזורים בנויים. הפריחה המועטה בשמורת האירוס הנצרתי, ותהליך מתמשך של פיחות באוכלוסיה על פי עדותם של פקחי רשות הטבע והגנים מציעים שייתכן כי צוואר בקבוק גנטי מגביל את הרבייה המינית ופוגע באוכלוסיית השמורה. בניסוי שנערך בשמורה ואוכלוסיית ארוס נצרתי קרובה נוספת באביב 2003 ניסינו לברר מספר שאלות בעלות עניין למצב הרבייה המינית בשמורה וחלופות ממשק הנוגעות לה. השאלה המרכזית עליה פרק זה מנסה לענות היא האם קיימת בעיה ביעילות הרבייה המינית הטבעית בשמורה. שאלות משנה לשאלה זו נוגעות לגורמים מגבילים אפשריים. האפשרויות אותן בדקנו הן יעילות מעבר האבקה בין צמחים והתפקיד של המרחק הגנטי בין פרטים. כמו כן, נבחנו האפשרויות השונות לשיפור יעילות הרבייה המינית בצורה מלאכותית.

מטרות הפרק: מתן מענה לשאלות הבאות:

- מהם שיעורי החנטה ומספרי הזרעים הממוצעים בפירות בצמחי השמורה, ומהם באוכלוסיות אחרות של האירוס הנצרתי?
- האם האבקה מלאכותית תתרום להגדלת שיעור החנטה ומספר הזרעים באירוסי השמורה?
- האם קירבה גנטית מהווה גורם מגביל לשיעור הפרחים החונטים ומספרי הזרעים בשמורה?
- האם מספר המאביקים מהווה גורם מגביל ברבייה המינית?
- האם האירוס בשמורה במשבר האבקה?

5.2 מבנה הפרח ומנגנון האבקה

לפרח האירוס שלוש יחידות האבקה. כל יחידה כוללת דגל (Standard), שפית (Fall) וצלקת מאורכת ורחבה (Stigma,ראה איור 12א). השפית והצלקת יוצרות את מנהרת ההאבקה (איור 12ב). בצידה העליון של המנהרה נמצא אבקן (Anter) אחד, ובקצה החיצוני של המנהרה-הצלקת. (Avishai 1977; Faegri and van der Pijl 1979; Goldblatt et al. 1989). על פי הספרות המאביק הבלעדי של האירוס הנצרתי הוא זכר צרעה יחידנית מסוג מחושית (*Eucera* spp ; Sapir et al. 2005). ישנן השערות לגבי תרומתם של מאביקים נוספים (יובל ספיר, עדות בעל פה). המחושית מוצאת מקלט לילה במנהרות ההאבקה של הפרח, ואגב בחירת מלון הלילה היא עוברת בין מנהרות כמה פרחים שונים ומבצעת העברת אבקה מהאבקנים לצלקות על גבה. גמול נוסף למאביקים הוא כנראה חימום יחסי של גופם בעת הזריחה המסייע להתחלת פעילות מוקדמת, זאת תודות לצבעי השפית הכהים, הקולטים את קרינת השמש. (Sapir et al. 2006)



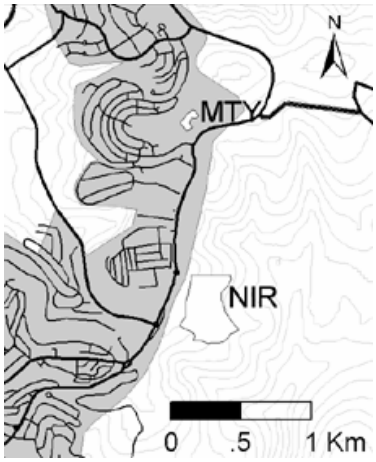
איור 12 - (א) צלום פרח האירוס נצרתי וציון חלקיו העיקריים. (ב) איור סכמטי של יחידת האבקה.

Figure 12 – (a) A photograph of an *Iris bismarckiana* flower and its main components. (b) Schematic plots of a pollination unit.

5.3 אזור הניסוי

הניסוי נערך באוכלוסיית שמורת האירוס הנצרתי ואוכלוסיית הר יונה המרוחקות זו מזו כ-1.5 ק"מ ומופרדות בכביש, שטחים נטועים, מרכז מסחרי ובית ספר (איור 13). האוכלוסיות נבדלות זו מזו במספר

מאפיינים שהשפיעו על מהלך הניסוי ויתכן שאף על תוצאותיו. האוכלוסייה בהר יונה צפופה ולכן הפרחים שהשתתפו בניסוי התפרשו מטעמי נוחות עבודת השדה על כ-8 דונם, בעוד שבשמורה נדגמו כל הפרחים הזמינים, על פני כ-130 דונם בשל דלילות האוכלוסייה ומיעוט הפריחה. מפנה המדרון בהר יונה הוא דרומי, בעוד שבשמורה המדרון במפנה מזרחי, דבר שכנראה גרם להבדל בתזמוני הפריחה בשני האתרים בשל הפרשי טמפרטורה.



איור 11 - אוכלוסיות שמורת האירוס הנצרתי (NIR) והר יונה (MTY) במורדות המזרחיים של הרי נצרת.

Figure 13 – The Nazareth Iris Reserve (NIR) and Mt. Yona (MTY) populations on the eastern slopes of the Nazareth hills.

5.4 שיטות

בתחילת עונת הפריחה סווג כל פרח פתוח שנמצא בשטחי האוכלוסיות לאחד מארבעה טיפולי האבקה. (א) סימון פרחים בתג לצורך זיהוי ללא טיפול נוסף (ביקורת). (ב) האבקה מלאכותית זרה (LCP). (ג) האבקה מלאכותית מאבקה של האוכלוסייה השנייה (RCP). (ד) האבקה עצמית (SP). סיווג הפרחים לטיפולים בוצע בצורה אקראית תוך ניסיון לבצע את כל הטיפולים בכל אחד מימות הניסוי. טיפול RCP בהר יונה בוצע בסוף עונת הפריחה שם ובנפרד מהטיפולים האחרים בגלל הפרש התזמון בין תחילת הפריחה בהר יונה ובשמורה. בעת איתור הפרחים הזמינים בשטח סווגו שני הפרחים הראשונים כביקורת, ושני הפרחים הבאים כ-RCP וכ-LCP כך שכחצי מפרחי הניסוי שימשו כביקורת, כרבע להאבקה זרה וכרבע להאבקה זרה ממקור רחוק. פרחי הניסוי סומנו בתגית עם מספר סידורי וציון הטיפול ותועדו תוך ציון תאריך הטיפול, מספר סידורי, סוג הטיפול ומיקום הפרח בשטח. כמרכיב נוסף בניסוי נדגמה נוכחות מאביקים בפרחים לאורך ציר אקראי ב-28 למרץ 2003 סמוך לשעת השקיעה. האבקה מלאכותית בוצעה על ידי קטיפת אבקן בשל מפרח אחד ושפשופו על שלוש הצלקות של הפרח המטופל. בטיפול LCP הוקפד על מרחק של לפחות 10 מטרים בין הפרח תורם האבקה לפרח המואבק. עקב המרחק הגיאוגרפי בין אתרי הניסוי לא תמיד ניתן היה לבצע האבקת RCP באבקנים שנקטפו באותו יום. במקרים כאלה נשמרו האבקנים במקרר למשך הלילה. לצורך ההאבקה העצמית כוסו כפתורי פרחים על סף פריחה בשעות הבוקר

בשקית טול שאינה חדירה למאביקים. ההאבקה עצמה בוצעה בשעות הצהריים לאחר פתיחת הפרח שנשאר מכוסה בשקית טול עד נבילתו. הטיפול בוצע רק באוכלוסיית הר יונה מטעמי שמירת טבע.

הערכת שיעור ההצלחה של החנטה נעשתה בשתי בדיקות: האחת כשלושה שבועות לאחר ההאבקה באמצעות בדיקת תפיחת השחלה, והשנייה לאחר כשמונה שבועות בעת קטיף הפירות וספירת הזרעים. פרחים שהראו תפיחת שחלה בבדיקה הראשונה אך פרי ריק ויבש בקטיף נרשמו כנפלים. נפלים מתחילים את פיתוח הפרי כרגיל אך לאחר זמן מה הזרעים מתנוונים והפרי מתייבש בטרם עת. במהלך העונה נאספו כפתורים ופרחים שבורים ונספרו הביציות בתוכן להערכת מספר זרעים מכסימלי.

שיעורי החנטה בניסויים שונים הושוו במבחנים סטטיסטים לשם הסקת מסקנות על ההבדלים ביניהם. ההשוואות השונות מפורטות בטבלה 11. בכל ההשוואות נבחנה ההשערה H_0 שההבדלים בין שיעורי החנטה הם אקראיים מול ההשערה האלטרנטיבית H_1 כי יש הבדל בין שיעורי החנטה באוכלוסיות שנדגמו. המבחנים אם כך הם דו-צדדיים והסתברות לדחיית ההשערה H_0 קטנה מ-0.05 הוגדרה כמובהקת מבחינה סטטיסטית. המדגמים הושוו באמצעות המבחן המדויק של Fisher (Desu and Raghavarao 2004; Sokal and Rohlf 1995 ונספח 7.1.3).

השוואה נוספת שנערכה בין הטיפולים השונים היא למספרי הזרעים בפירות. בכל ההשוואות נבחנה ההשערה H_0 שההבדלים בין ההתפלגויות מהן נדגמו מספרי הזרעים הם אקראיים מול ההשערה האלטרנטיבית H_1 כי יש הבדל בין ההתפלגויות מהן נדגמו המדגמים. המבחנים הם דו צדדים והסתברות לדחיית ההשערה H_0 קטנה מ-0.05 הוגדרה כמובהקת מבחינה סטטיסטית. השוואת המדגמים נערכה באמצעות מבחן Mann-Whitney (Desu and Raghavarao 2004; Sokal and Rohlf 1995 ונספח 7.1.2).

5.5 תוצאות

תוצאות בדיקות החנטה מופיעות בטבלה 10. ההסתברות לדחיית ההשערה H_0 בהשוואות השונות מופיעה בטבלה 11. שעורי החנטה בהאבקה טבעית הם 15% ו-12% בשמורה ובהר יונה בהתאמה, ללא הבדל סטטיסטי מובהק. האבקה מלאכותית ממקור קרוב (LCP) הגדילה את שיעור החנטה ל-63%. תוצאה זו גדולה בצורה מובהקת משיעור החנטה בהאבקה טבעית בשמורה. טיפול LCP בהר יונה הגדיל את שיעור החנטה ל-30%, גידול שאינו מובהק מבחינה סטטיסטית. האבקה ממקור רחוק (RCP) העלתה עוד יותר את שיעורי החנטה, ל-94% ו-67% בשמורה ובהר יונה בהתאמה. לשתי התוצאות מובהקות גבוהה לעומת קבוצת הביקורת. מתוצאות אלה נראה שטיפול האבקה מלאכותית ממקור רחוק (RCP) מעלה את שיעורי החנטה יותר מאשר טיפול האבקה מלאכותית ממקור קרוב (LCP) אולם רק בהר יונה ההבדל בין הטיפולים מובהק מבחינה סטטיסטית. ההשוואה בין שני טיפולי ההאבקה המלאכותית מעניינת לצורך קבלת החלטות ממשק האבקה מלאכותית. מאחר ואי מובהקות ההבדל בין הטיפולים בשמורה עלולה לנבוע מגודל המדגמים

המצומצם הוחלט לאחד את תוצאות הטיפולים המקבילים בשני האתרים להגדלת עוצמת מבחני ההשוואה. איחוד זה ניתן להצדיק לאור תוצאות הטיפולים הדומות בשני האתרים (טבלה 10) וחוסר מובהקות ההבדלים בטיפולים המקבילים בין שני האתרים (טבלה 11, השוואות 8 ו-9). בטבלה 11 מופיעות תוצאות המבחנים המשווים בין הטיפולים לאחר איחוד תוצאות הטיפולים המקבילים. ההבדל בין שיעורי חנטת הביקורת ושעורי החנטה בהאבקה מלאכותית בשתי הצורות מובהק מאד. לאחר איחוד התוצאות, ההבדל בין שעורי החנטה בשני טיפולי ההאבקה המלאכותית (LCP ו-RCP) גם הוא נמצא מובהק ומצביע על יתרון ההאבקה מלאכותית ממקור רחוק.

בטבלה 12 ניתן לראות את מספרי הזרעים בפירות שהתקבלו בכל אחד מהטיפולים. שמונה חנטות שסווגו כחנטה בניסוי ומופיעות בטבלה 10 לא נכללו בספירת הזרעים בגלל פגיעות טורפים בחלק מזרעיהן. ממוצע מספרי הזרעים בפרחי הביקורת היה 16.8 ו-17 בשמורה ובהר יונה בהתאמה. ממוצע המדגם של טיפול האבקה מלאכותית ממקור קרוב (LCP) בשמורה זינק ל-31.3 והיה גדול מממוצע מדגם הביקורת בצורה מובהקת. ממוצע הזרעים בהאבקה ממקור רחוק (RCP) בשמורה היה 38.3 וכמובן נבדל סטטיסטית מהביקורת. בהר יונה ממוצעי הזרעים בהאבקה מלאכותית ממקור קרוב (LCP) ורחוק (RCP) היו 20.5 ו-24.8 בהתאמה, והם אינם נבדלים מהביקורת באופן מובהק. לא נימצא הבדל מובהק בין שני טיפולי ההאבקה מלאכותית (LCP ו-RCP, השוואות 4 ו-7 בטבלה 11) במדגמי הזרעים בשני האתרים. בהשוואת טיפולי ההאבקה המלאכותית המקבילים בשני האתרים (השוואות 8 ו-9 בטבלה 11) לא נמצא הבדל מובהק במדגמי הזרעים בטיפולי האבקה מלאכותית ממקור קרוב (LCP) אך נמצא הבדל מובהק בטיפולי האבקה מלאכותית ממקור רחוק (RCP). להגברת עוצמת המבחנים הסטטיסטים אוחדו תוצאות הטיפולים המקבילים. מדגם הזרעים המאוחד בניסוי האבקה מלאכותית ממקור רחוק (RCP) גדול באופן מובהק ממדגם זרעי הביקורת המאוחד (השוואה 11). בהשוואות המדגמים המאוחדים האחרות לא נמצא הבדל מובהק (השוואות 10 ו-12 בטבלה 11). מספרי הביציות בארבעת הפרחים גדולים בצורה בולטת ממספרי הזרעים (טבלה 13). נראה כי לא מספר הביציות הוא המגביל את מספרי הזרעים ברבייה המינית אלא גורמים אחרים.

בהאבקה עצמית נמצא שיעור גבוה ומפתיע של אתחול חנטה ב-58% מהפרחים. קיום חנטה בהאבקה עצמית סותר את הידוע על אי התאם עצמי באירוסי ההיכל. בהמשך התנוונו מרבית החנטים וסווגו כנפלים. שני פירות הניבו זרעים תקינים (טבלה 12). בנפלים היו זרעים מצומקים ומנוונים ברמות התפתחות שונות. שיעור ההפלות הגבוה מרמז על כך שהפלות שנצפו מהוות חלק ממנגנון אי ההתאם העצמי.

הדיגום לשיעור הביקורים בפרחים פתוחים התבצע ב-28 למרץ 2003. סך של 88 ו 55 פרחים שנדגמו בשמורה ובהר יונה בהתאמה ללינת חרקים במנהרת האבקה בערב. מרבית הלנים שנמצאו היו זכרי מחושית (*Eucera* spp), אך היו גם פרטים של זיבלית (*Amphicoma* spp., Coleoptera: Glaphyridae), הם נכללו בחישובים מתוך הנחה שיש להן חלק בהעברת אבקה. לפחות חרק אחד נכח ב-25% ו-17.8%

מהפרחים בשמורה ובהר יונה בהתאמה וללא הבדל מובהק בין האתרים. שיעור הביקורים הגבוה יחסית לחנטה הטבעית, כמו גם היות הפרחים פתוחים כחמישה ימים להאבקה, מרמז שביקורי מאביקים לא יעילים בהאבקה ולא כל פרח שזוכה לחרקים לני לילה מגיע לחנטה.

טבלה 10 - גודל המדגמים, מספרי החנטות, מספרי אי החנטות (בסוגריים מספר ההפלות) ושיעורי החנטה בטיפולים השונים.

Table 11 – The sample size, number of seed settings, number of failures (in parentheses the number of abortions).

	הר יונה			**שמורה**		
	ביקורת	**LCP**	**RCP**	**עצמית**	**ביקורת**	**LCP**	**RCP**
מדגם	52	23	24	12	34	16	16
חנטות	6	7	16	2	5	10	15
אי חנטה (הפלות)	46 (6)	16 (1)	8 (1)	10 (5)	29 (0)	6 (1)	1 (1)
שיעור חנטה	0.12	0.30	0.67	0.17	0.15	0.63	0.94

טבלה 11 - תוצאות המבחנים הסטטיסטיים להשוואת שיעורי החנטה ומדגמי מספרי הזרעים.

Table 12 – The results of the statistical testing of the seed setting rates and the seed numbers samples.

השוואות	**שיעורי חנטה**	**שיעורי חנטה**	**מספרי זרעים**
	טיפול	ערך p	ערך p
1	שמורה ביקורת הר-יונה ביקורת	0.746	1.000
2	שמורה ביקורת שמורה LCP	0.002	0.033
3	שמורה ביקורת שמורה RCP	<0.001	<0.001
4	שמורה RCP שמורה LCP	0.083	0.165
5	הר-יונה ביקורת הר-יונה LCP	0.094	0.507
6	הר-יונה ביקורת הר-יונה RCP	<0.001	0.247
7	הר-יונה LCP הר-יונה RCP	0.020	0.364
8	שמורה LCP הריונה LCP	0.059	0.116
9	שמורה RCP הר-יונה RCP	0.061	0.018
10	מאוחד ביקורת מאוחד LCP	<0.001	0.059
11	מאוחד ביקורת מאוחד RCP	<0.001	0.005
12	מאוחד LCP מאוחד RCP	0.002	0.300

טבלה 13 - מספרי הזרעים בכל אחד מהפירות הלא פגועים בטיפולים השונים.

Table 13 – The number of seeds in the undamaged fruits produced by each of the treatments.

	הר יונה				**שמורה**		
	ביקורת	**LCP**	**RCP**	**עצמית**	**ביקורת**	**LCP**	**RCP**
	7	9	5	14	4	16	14
	8	10	5	19	11	24	25
	8	12	12		17	25	28
	19	16	17		23	30	34
	28	28	18		30	32	38
	31	48	19			37	39
			25			40	41
			29			46	41
			31				42
			31				44
			32				54
			39				60
			40				
			44				
ממוצע	16.8	20.5	24.8	16.5	17.0	31.3	38.3
סטיית תקן	10.8	15.2	12.5	3.5	10.1	9.7	12.3

טבלה 12 - מספרי הביציות בפרחים וניצנים שבורים.

Table 14 –The number of ovules in the broken flowers and buds.

פרח	**מס' ביציות בכל מגורה**			**סך הכל**
1	21	21	21	63
2	31	33	32	96
3	25	25	26	76
4	29	27	28	84
ממוצע				79.75

5.6 מסקנות ודיון

בהסתמך על שיעורי ההאבקה הטבעית בתוצאות המואחדות של שני האתרים, שיעור החנטה באירוס על פי הניסוי הוא 13% ומספר הזרעים בחנטה טבעית הוא 16.9 זרעים לחנטה. מטבלה 11 ברור שהאבקה

מלאכותית ממקור רחוק היא דרך יעילה להגברת שיעור החנטה. נראה שיש מתאם חיובי בין העלייה בשיעור החנטה לעליה במספר הזרעים, עובדה שמחזקת את ההמלצה להאבקה מלאכותית. ההבדל המובהק בתוצאות שיעורי החנטה באבקה מלאכותית תוך שימוש באבקה ממקור רחוק לעומת האבקה ממקור קרוב מראה יתרון להאבקה ממקור רחוק. יתר על כן, בשמורה מספרי הזרעים בחנטות האבקה מלאכותית ממקור רחוק היו גבוהים במובהק ממספרי הזרעים בחנטות מהאבקה ממקור קרוב. בהר יונה לא נימצא הבדל מובהק במספרי הזרעים בין שני סוגי ההאבקה המלאכותית. תוצאה זו יכולה לנבוע מהתנאים לניסוי זה בהר יונה. בשל הבדלי בזמני הפריחה בשמורה ובהר יונה האבקה ממקור רחוק בהר יונה התבצעה לקראת סוף עונת הפריחה וניתן לשער שתנאי הסביבה היו פחות טובים לחנטה (זמינות מים נמוכה יותר וטמפרטורה גבוהה יותר).

העלייה בשיעור החנטה ומספרי הזרעים בהאבקה ממקור רחוק מרמזת שיתכן ששתי האוכלוסיות מרוחקות זו מזו מבחינה גנטית ואין זרימת גנים בין האוכלוסיות, מצב שיוצר ריחוק גנטי גדול יחסית למרות הקרבה הגיאוגרפית. מאידך ניתן לשער שגם אוכלוסיות במרחק דומה עם רצף שטח טבעי ביניהן היו מרוחקות במידה זו או אחרת בשל גורמים התלויים במאביקים הטבעיים. להבנה טובה יותר של קשרים ורצפי זרימת גנים בין אוכלוסיות של האירוס הנצרתי, יש לבצע ניסויים נוספים החוזרים על ניסויי ההאבקה המלאכותית משני הסוגים (LCP ו-RCP) בפרטים מאוכלוסיות רציפות ואוכלוסיות המנותקות זו ומזו. יש להקפיד על מרחקים גיאוגרפיים דומים למרחק בניסוי שתואר בעבודה זו.

בטבלה 13 ניתן לראות את מספרי הביציות שנספרו בניצנים ופרחים שבורים שנמצאו בשתי האוכלוסיות. מספרי הביציות גבוהים בהרבה ממספרי הזרעים שנמצאו בחנטות בשמורה ובהר יונה. עם ההסתייגות עקב מספר הכפתורים הקטן, נראה שמספר הביציות אינו הגורם המגביל את מספרי הזרעים. עובדה זו מחזקת את היות הקרבה הגנטית גורם המגביל את מספרי הזרעים בחנטות. טענה זו דורשת גם היא בדיקה נוספת. סביר להניח שמספר הזרעים בחנטה הוא פונקציה התלויה במספר רב של גורמים, בין היתר כמות הביציות, קירבה גנטית של שני ההורים זה לזה וזמינות משאבים כגון מים ונוטריאנטים.

תוצאות ניסוי ההאבקה העצמית וכן שיעור ההפלות הנצפות הגבוה יחסית בהאבקה טבעית באוכלוסיית הר יונה (12%) מוסיפים מידע משמעותי על הבנת מנגנון אי ההתאם העצמי. ניתן לראות ששיעור הפרחים שהתחילו חנטה לאחר האבקה מלאכותית עצמית דומה לשיעור המקביל בניסוי ההאבקה ממקור קרוב. לעומת זאת, בהמשך התהליך נשארו רק שני פרחים חונטים והשאר התנוונו. הדבר מרמז על מנגנון אי התאם עצמי המופעל בשלב גיוס המשאבים בעת גידול הזרעים. יש לשער ששיעור ההפלות בהאבקה עצמית אפילו גבוה יותר מהשיעור שנצפה עקב הפלות בשלבים קודמים לעיבוי שחלה נראה לעין. ניתן להסיק שהקרבה הגנטית היא הגורם לחלק גדול מההפלות שנצפו והיא מהווה חלק נכבד במנגנון אי-ההתאם העצמי. הבנת ההשלכות של המנגנון על הרבייה המינית באירוס הנצרתי חשובה בעת קבלת החלטות ממשק ושימור המין. ניתן לשער על סמך התוצאות כי גם באוכלוסיה צפופה כמו הר יונה וגם באוכלוסיה מנותקת

או קטנה שיעור ההאבקה העצמית מהווה גורם משמעותי בהורדת אחוז החנטה ותנובת הזרעים באוכלוסיה. יש לאשש השערה זו בניסויים עם מספרי פרחים גדולים יותר באוכלוסיות נוספות.

תוצאות ניסויי ההאבקה לא יכולות להצביע בבירור על קיומו או אי קיומו של משבר האבקה באירוסי נצרת. קיומם של הבדלים בשיעור החנטה ומספרי הזרעים באוכלוסיות אחרות של האירוס הנצרתי עלולים לנבוע מהבדלים גנטיים או אחרים בין האוכלוסיות, ויש לחקור את הפרמטרים השונים של רבייה מינית באוכלוסיות אחרות, גדולות ורציפות של האירוס הנצרתי והשוואת תוצאות שיעורי הרבייה המינית לאלה שבשמורה ובהר יונה. כל אלה יסייעו לגבי החלטה לגבי קיומו או אי קיומו של משבר האבקה באזור נצרת, וגם זאת תחת הסייג של אפשרות להבדלים גנטיים טבעיים ברבייה המינית בין האוכלוסיות השונות.

6. מסקנות והמלצות ממשק

פרק זה מסכם את מסקנות המחקר ואת המלצות הממשק הנגזרות מהן.

6.1 התפשטות הסירה הקוצנית בשמורה והשפעתה על האירוס

ניתוח תצלומי אויר מצביע על כך שהצומח המעוצה בשמורה (רובו המכריע סירה קוצנית) במגמת התפשטות. בהנחה שקצב ההתפשטות הנוכחי ימשך, יגיע השטח לכיסוי מלא בשנת 2045. בפועל צפוי שהתהליך יימשך זמן רב יותר ולא יגיע לכיסוי מלא, משום שסביר להניח כי ישנם בשמורה אזורים פחות מתאימים לסירה. תופעה זו היא תגובה אופיינית לנטישה של שטחי חקלאות מסורתית באזור המזרח התיכון. פיזור האירוס על פני חתכים אופייניים בשמורה וההבדלים המורפולוגיים בין צמחי אירוס בתוך ומחוץ לסירה מצביעים על כך שאוכלוסיית האירוס תלך ותקטן ככל שכיסוי הסירה ילך ויגדל. מגמות הגידול של הסירה נובעות ממספר משתנים, ונראה שהראשי שבהם הוא הפסקת החקלאות בשנת 1963. גורם נוסף ומשמעותי הוא העלמות רעיית עיזים שיתכן ודיכאה את התפשטות הסירה בעבר. מאידך, המידע לגבי תופעת עטרת העשבוניים (ראה גם פרק 3.1) סביב שיחי סירה קוצנית (ארנון וחובריו, 2007) מטילה אור חדש על מיעוט צמחי האירוס בכלל ושיעור פריחתם בפרט של האירוסים בשטח B הדל בסירה. (לא נערכה בדיקה מסודרת בנושא זה). כיוון זה לא עבר כלל בחינה או בדיקה כלשהי במסגרת מחקר זה. לאור המידע החדש הנחשף במאמר הנ"ל יש מקום לשקול בדיקה של נוטריאנטים בקרקע בשטח B קרוב ורחוק משיחי סירה להבנת תפקידה החיובי של הסירה בשטח זה של השמורה, לשם קבלת תמונת מצב מלאה יותר של הסירה כגורם המשפיע על האירוס גם לטובה.

6.2 חלופות ממשק אקטיבי

הטיפול לצמצום העשבוניים לא הביא לשיפור במצב האירוס. להיפך, נראה שפעולת סילוק העשבוניים גרמה לאכילת אירוסים אינטנסיבית על ידי חולדים. כמו כן נצפתה נגיעות מוגברת של אירוסים על ידי כנימות רכות באזורי הטיפול בעשבוניים (לא נבחן כמותית). בחלקות הסירה לעומת זאת ניכרה מגמת עלייה משמעותית במספרי הצמחים והפרחים בחלקות הטיפול לעומת חלקות הביקורת (בייחוד בחלקות 11

ו-12). המשך מעקב בחלקות ניסוי הסירה הקוצנית עשוי להניב תוצאות נחרצות יותר לגבי יתרונות וחסרונות השמדת הסירה באזורי החלקות. יש לשקול הרחבת הטיפולים לאזורים סביב חלקות בהן נצפתה תגובה חיובית. באזורים שלא נצפתה תגובה מובהקת לטיפולים יש להמשיך במעקב. הרחבת הניסוי לאזורים נוספים בשמורה עשוי לתת תמונה מפורטת לגבי יעילות הטיפול באזורים בשמורה המכוסים בסירה קוצנית. לפני ישום מדיניות גורפת של השמדת הסירה בשטחים נרחבים כדאי לקחת בחשבון בעלי חיים שמוצאים מסתור בשיחי הסירה (למשל לטאות,קיפודים וצבים) ולא ליצור מצב שעלול לפגוע בהם ובערכי טבע אחרים שזקוקים לכיסוי צומח מעוצה. שיקול נוסף הוא סחף קרקע שעלול להיווצר לאחר השמדת צומח מעוצה. כתלות בשיפועי הקרקע, הסחף עלול לגרום לחשיפת שורשי אירוסים באזורי איבוד קרקע ולקבירת אירוסים באזורי ההצטברות. השפעה חיובית אפשרית של הסירה על האירוס, כפי שנחשפה במחקרים באיזורים יובשניים על עשבוניים (ראה פרק 3.1) לא נחקרה כלל במחקר זה. כיוון זה חשוב שיבדק, לפחות ברמת התצפית כדוגמת החתכים (פרק 3.2) בשטח B, למשל על ידי בדיקת שיעורי פריחה בחתכים, גדלי צמחים ועוד מדדי חיוניות, לבירור כיוון חשוב זה בתפקידה של הסירה על האירוס, שעשוי להיות גם חיובי, ולא הובא כלל בחשבון במחקר זה.

6.3 תכנון וביצוע הניסויים

הניסוי לבדיקת חלופות ממשק נערך ב-24 חלקות שנבחרו במקומות צפופים באירוסים. לחלקות נבחרו ריבועים בגודל 5x5 מטרים. הוערך שמימדי ניסוי אלו יאפשרו השפעת הטיפול מבחינת תחרות על משאבים אך לא ישפיעו בצורה משמעותית על השמורה כולה. מימדי החלקות חייבו כניסה תדירה לשטחן לצורך טיפול ומיפוי, כתוצאה מכך נפגעו הצומח בחלקות בכלל והאירוסים בפרט במהלך העבודה בשטח. צורת החלקות הריבועית לא מאפשרת ניצול יעיל של השטח המטופל. בחירת חלקות טיפול עיגוליות עם מרכז הכובד של פיזור האירוסים הנבדקים במרכזן הייתה מאפשרת בחינת השפעת הטיפול בצורה סימטרית. שימוש במספר גדול של חלקות עגולות וקטנות מאפשר ניצול טוב יותר של השטח המטופל תוך צמצום הצורך בכניסה לתוך שטח החלקות וגרימת נזקי רמיסה. הבדל התגובה לטיפולים בחלקות השונות מביא למסקנה שהשטח מאד הטרוגני מבחינת פוטנציאל בית גידול לאירוס והשפעות התחרות עם הסירה על הריבוי הווגטטיבי והפריחה. מספר רב של חלקות קטנות מאפשר ייצוג טוב יותר של טיפוסי השטח בשמורה. הדגימה והתיעוד במערכות GPS וניתוח הנתונים במערכת GIS לא מיושמות בדרך כלל על צמחים קטנים ולא ידוע לי על יישום קודם שלהן בחקר צמחים עשבוניים. עקב צפיפות הצמחים בחלקות לא הגיע יתרונן של שיטות אלה לביטוי מלא כפי שציפינו. דיוק המדידה בשטח היה נמוך בהרבה מדיוק מכשירי המדידה ותוכנות הניתוח. שימוש בחלקות קטנות יותר, או דלילות יותר היה מאפשר מעקב פרטני אחרי כל צמח. מאידך יתרונות הדיוק של שיטת המיפוי באו לידי ביטוי במיפוי תופעת פריחה בחלקות בשל דלילות הפריחה היחסית בשמורה. יתרון נוסף שעשוי להתגלות בהמשך שנות המעקב אחרי חלקות הניסוי הוא מעקב מדויק יחסית של דפוס כתמי צמחי האירוס בחלקות שעשויים להתפשט בהדרגה ברבות השנים לאזורים ריקים בחלקות על ידי ריבוי וגטטיבי.

6.4 רבייה מינית

ניסויי הרבייה המינית בדקו את שיעור הרבייה המינית הטבעי של אירוסי השמורה והר יונה ואת יעילות טיפולי האבקה שונים בהגברת החנטה. שיעורי החנטה הטבעית באוכלוסיות השמורה והר יונה דומים. כדאי לבדוק האם שיעורי החנטה שנמצאו באזורים אלה בעונת פריחה אחת תקפים על פני עונות נוספות ובאוכלוסיות רציפות וגדולות ללא הפרעות אנתרופוגניות בסביבתן. ללא קשר לרמת הרבייה של השמורה יחסית לאוכלוסיות אחרות, מומלץ להאביק מלאכותית את פרחי השמורה, הגברת הרבייה המינית על ידי האבקה מלאכותית היא דרך זולה ומיידית לפעולה לטובת האוכלוסייה בשמורה. האבקה מלאכותית באבקה ממקור רחוק נתגלתה כיעילה יותר בהגברת הרבייה המינית באופן מיידי על ידי העלאת שיעורי החנטה. האבקה בצורה זו צפויה להגביר גם את החנטה הטבעית בשנים הבאות בזכות המרחק הגנטי הגדול בין צמחי זרעי הכלאיים לשאר האוכלוסייה. יש לתעד את העברות האבקה ולברור היטב את מדיניות זיווגי האתרים. אין לקחת אבקה ממקור רחוק מאד, שכן ערבוב והעברת תכונות וגנים מאכלוסיה מרוחקות עלול להיות הפרעה לתהליכים אבולוציוניים טבעיים וכן "לזהם" את האוכלוסייה בגנים פחות מתאמים לתנאים מקומיים ולהרע את מצבה. בעבודה זו בוצעו ניסויי האבקה ממקור קרוב בשתי אוכלוסיות הנבדלות מאד זו מזו מבחינת צפיפות הפרחים. בשמורה הדלילה יותר בפריחה הוכתב המרחק הפיזי בין הפרח המאביק לפרח המואבק על ידי זמינות הפרחים בשטח. בהר יונה צפיפות הפרחים הייתה רבה והמרחק נקבע שרירותית ל-10 מטרים. כתוצאה מכך המרחק הפיזי (וכנראה המרחק הגנטי) בין תורמי ומקבלי האבקה היו שונים בשתי אוכלוסיות ניסוי זה, ויתכן שזו הסיבה להבדלים בתוצאות האבקה ממקור קרוב בשתי האוכלוסיות. בניסויי האבקה השוואתיים כדוגמת הניסוי בעבודה זו יש לשאוף למרחק גנטי דומה בין תורמי ומקבלי אבקה. המלצתי המעשית היא להקפיד על מרחקים פיזיים שווים בשתי אוכלוסיות הניסוי מאחר ובדרך כלל מרחק גנטי תואם למרחק פיזי.

7. נספחים

7.1 מבחנים סטטיסטיים

7.1.1 מבחן בינומי

תוצאת ניסוי קטגוריאלית (0 או 1, כן או לא, וכדומה) עם הסתברות מסוימת p נקראת בסטטיסטיקה מבחן ברנולי. תוצאת חזרה על מבחן ברנולי n פעמים מוגדרת כמתפלגת בינומיאלית $B\sim(n,p)$. בתזה זו נחשב כל צמח אירוס לאורך חתך מייצג כמבחן ברנולי עם הסתברות לגדול בתוך סירה קוצנית השווה לשיעור כסוי הסירה על פני החתך. ההסתברות לכך שצמחי האירוס מפוזרים באקראי יחסית לשיחי הסירה שווה לערך פונקצית צפיפות ההסתברות המצטברת של משתנה בינומיאלי עם מספר דרגות חופש n (מספר הצמחים) ופרופורציית הצלחה p (שעור כסוי הסירה), בהינתן ערך N של מספר צמחים שנמצאו גדלים בתוך הסירה. ההסתברות הנמוכה שנמצאה מצביעה על כך שהאירוס אינו נוטה לחלוק את בית גידולו עם הסירה.

7.1.2 מבחן Mann-Whitney

מבחן Mann-Witney (Desu and Raghavarao 2004; Sokal and Rohlf 1995) נועד לבחון מה ההסתברות ששני מדגמי תוצאות (עם ערכים שלמים, רציפים או דירוגים) נדגמו למעשה מאותה התפלגות בסיסית כך שההבדלים ביניהם הם תוצאה של אקראיות הדגימה. במקרה שמתקבלת הסתברות נמוכה (על פי מדד שנקבע מראש) מניחים שההבדל בין שני המדגמים מהותי. לדוגמא, הסתברות נמוכה לכך שערכים כל שהם שנמדדו בחלקת טיפול שייכים לאותה ההתפלגות ממנה נדגמו ערכים מקבילים בחלקת בקורת מצביעה על כך שהטיפול אכן השפיע על תוצאות המדידה. המבחן המקובל לבחינה כזו, מבחן Student' t, מניח שתוצאות הניסוי נדגמו מתוך התפלגות נורמלית (גאוסיינית). מאחר ולא ניתן היה לבסס על סמך אמצעים אמפיריים (עקב מדגמי התוצאות הקטנים יחסית) או שיקולים תיאורטיים שהתוצאות אכן נדגמו מתוך התפלגות נורמלית כלשהי, בחינת יעילות הטיפולים בחלקות להגדלת מספרי הצמחים והפרחים וכמו כן השוואת מספרי הזרעים שהתקבלו בצורות ההאבקה השונות התבצעה באמצעות מבחן Mann-Witney. מבחן אי-פרמטרי זה משתמש בדירוגי הערכים לצורך הערכת ההסתברות לאקראיות ואינו מצריך הנחה לגבי ההתפלגות ממנה הם נדגמו. העוצמה הסטטיסטית של מבחן זה קטנה בדרך כלל במעט מעוצמת מבחן Student's t כך שהתוצאות שחושבו באמצעותו הן שמרניות. בנוסף לכך, מדגמי התוצאות הקטנים יחסית גם הם מגבילים את עוצמת המבחנים. לכן לדוגמא, הסתברות 0.0586 לכך שהסרת הסירה הקוצנית עודדה את מספרי צמחי האירוס אינה נחשבת למובהקת על פי המדד המקובל של 0.05 אולם בהחלט ייתכן שאם ניתן היה להשתמש במבחן Student's t או במקרה ומדגמי הניסויים היו גדולים יותר, ההסתברות המתקבלת לאקראיות התוצאות הייתה קטנה יותר ויורדת מתחת ל-0.05.

7.1.3 המבחן המדויק של Fisher

במקרים בהם תוצאות שני ניסויים, לדוגמא טיפול ובקורת, יכולות לקבל רק ערכים קטגוריאליים (0 או 1, הצלחה או כשלון, וכדומה), ניתן לתאר את התוצאות באמצעות טבלה 2X2 לדוגמא:

	טיפול	**בקורת**
הצלחה	17	15
כשלון	5	8

המבחן המדויק של Fisher נועד לבחון את ההסתברות שההבדלים בין הפרופורציות השונות שנתקבלו בשני הניסויים (17:5 ו – 15:8 בדוגמא למעלה) הם תוצאה אקראית בלבד. הסתברות נמוכה לכך שהפרופורציות התקבלו בצורה אקראית מצביעה על כך שהטיפול אכן השפיע על תוצאות המדידה. בתזה זו, בחינת תוצאות שעורי פריחה באתרי הפריחה, ושעורי החנטה שנתקבלו באמצאות צורות האבקה שונות, נבחנו בשימוש מבחן Fisher המדויק. כפי ששם המבחן מרמז, תוצאותיו מדויקות. תוצאות מבחנים סטטיסטים אחרים כמבחן Chi^2 או מבחן G (Sokal and Rohlf 1995) שלעיתים משמשים לבחינת טבלאות 2X2 הן רק קירובים לתוצאות המבחן המדויק. השימוש הנפוץ במבחנים אילו לניתוח טבלאות 2X2 הוא אנכרוניזם רשלני הנובע מהחישובים האריתמטיים המסובכים שמבחן Fisher מחייב ושהיו

קשים לביצוע לפני עידן המחשבים. ניתוח תוצאות עבודה זו באמצעות שלושת המבחנים השונים הראה שהקירובים עלולים להיות מאד מרוחקים מהתוצאות המדויקות.

7.2 טבלאות נוספות

טבלה 13 - מספרי פרחים בעונות מחקר שונות בחלקות בהן נבדקה השפעת הסירה על האירוס.

Table 15 – The number of flowers in the various research seasons in the plots where the impact of the Prickly Burnet's impact was studied.

חלקה	טיפול	2002	2003	2004	2006	2007
1	ביקורת	0	0	0	2	1
2	גיזום	1	0	0	12	28
3	ביקורת	2	2	0	7	6
4	גיזום	0	0	0	2	0
5	שריפה	2	1	0	11	10
6	שריפה	6	0	0	3	9
7	גיזום	0	0	0	2	7
8	ביקורת	3	3	0	5	3
9	שריפה	2	1	0	6	16
10	ביקורת	0	2	0	3	2
11	שריפה	2	0	1	22	35
12	גיזום	1	0	3	22	50

8. מקורות ספרות

Aaviksoo, K. 1993. Changes of plant cover and land use types (1950's to 1980's) in three mire reserves and their neighbourhood in Estonia. Landscape Ecology 8(4):287-301.

Allen-Wardell, G., et al. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. Conservation Biology 12:8-17.

Ashman, T.L., et al. 2004. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. Ecology 85: 2408–2421.

Avishai, M., 1977. Species relationships and Cyto-Genetic affinities in section Oncocyclus of the genus Iris. Ph.D. Thesis, The Hebrew University, Jerusalem.

Begon, M., Mortimer, M., Thompson, D.J. 1996. Population ecology. Blackwell Science, Berlin.

Boeken, B. and Orenstein, D. (2001). The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid shrubland. Journal of Vegetation Science 12: 825–832.

Buchmann, S.L., Nabhan, G.P. 1996. The forgotten pollinators. Island Press, Washington, D.C..

Charlesworth, D., Vekemans, X., Castric, V., Glemin, S. 2005. Plant self-incompatibility systems: a molecular evolutionary perspective. New Phytologist 168: 61–69.

Charpentier, A., 2001. Consequences of clonal growth for plant mating. Evolutionary Ecology 15:521-530.

Desu, M.M., Raghavarao, D., 2004. Nonparametric Statistical Methods for Complete and Censored Data. Boca Raton, Florida.

Faegri, K., van der Pijl L., 1979. The Principles of Pollination Ecology, 3rd edition. Pergamon Press, Oxford.

Frelich, L. E., and P. B. Reich. 1995. Spatial patterns and succession in a Minnesota southern-boreal forest. Ecological Monographs 65:325-346.

Gilad, E., von Hardenberg, J., Provenzale, A., Shachak, M. and Meron, E. (2004). Ecosystem Engineers: From Pattern Formation to Habitat Creation. Physical Review Letters 93 (9): 098105: 1-4.

Goldblatt, P., Bernhardt, P., Manning J., 1989. Notes on the pollination mechanisms of *Moraea inclinata* and *M. brevistyla* (Iridaceae). Plant Systematics and Evolution 163:201-209.

Gordon, D. R., Rice., K.J., 1993. Competitive effects of grassland annuals on soil Water and blue oak (Quercus douglasii) seedlings. Ecology 74(1):68-82

Harper, J.L., 1977. The population Biology of plants. Academic Press, London.

Ludwig, J. A. and Tongway, D. J. (1995). Spatial organization of landscapes and its function in semi-arid woodlands. Australia Landscape Ecology 10:1 51-63.

Lennartsson, T., 2002. Extinction thresholds and disrupted plant-pollinator interactions in fragmented plant populations. Ecology 83:3060-3072.

Litav, M. & Orshan, G. 1971 Biological flora of Israel. 1. *Sarcopoterium spinosum* (L.) sp. Israel journal of Botany 20: 48-64.

Manitasevic, S. Dunderski, J, Matic G, 2007 Seasonal variation in heat shock proteins Hsp70 and Hsp90 expression in an exposed and a shaded habitat of *Iris pumila* Plant Cell and Environment 30 (1)

McCree, K.J., Loomis, R.S., 1969. Photosynthesis in fluctuating light. Ecology 50: 422-428

Pantis, J.D., Mardiris, T.A., 1991. The effect of grazing and fire on degradation processes in Mediterranean ecosystems. Israel Journal of Botany 41:233-242.

Perevolotsky, A., Ne'eman, G.,. Yonatan, R.,. Henkin, Z. 2001. Resilience of prickly burnet to management in east Mediterranean rangelands. Range Management. 54: 561–566.

Pickett, S.T.A., White, P.S., 1985. The Ecology of Natural Disturbances and Patch Dynamics. Academic Press, Orlando.

Rabinowitz, D., 1981. Seven forms of rarity, in The Biological Aspects of Plant Conservation, Hugh Synge Editor. John Wiley & Sons.

Sapir, Y., Shmida, A., Ne'eman G., 2005. Pollination of Oncocyclus irises (Iris Iridaceae) by night-sheltering male bees. Plant Biology 7:417-424.

Sapir, Y., Shmida, A., Ne'eman G., 2006. Morning floral heat as a reward to the pollinators of the Oncocyclus irises. Oecologia 147:53-59.

Sapir, Y., Walzcak, M., 2002. Distribution of *Iris bismarckiana* in the Galilee. A report to the Israeli Nature and Parks Authority, Jerusalem.

Seligman, N.G., Henkin, Z. 2000. Regeneration of a dominant Mediterranean dwarf shrub after fire. Journal of Vegetation Science, 11: 893-902.

Sokal, R.R., Rohlf , F.J.,1995. Biometry. W.H. Freeman & Company, New York.

Wareing, P.F., Philips, I.D.J., 1981. The Control of Growth and Differentiation in Plants. Pergamon Press.

Wolf, A.T., Harrison, S.P., 2001. Effects of habitat size and patch isolation on reproductive success of the serpentine morning glory. Conservation Biology 15:111-121.

ארנון, א. דוד-אונגר, י., שחק, מ. , סבוראי, ט., פרובולוצקי. תופעת העטרה: זיקה מרחבית בין שיחים ועשבוניים במערכת רעייה צחיחה למחצה – תיעוד ראשוני והשלכות אפשריות לממשק. בעריכה, היער של קק"ל.מפרסומי מינהל המחקר החקלאי מס' 143/2006. המאמר עבר ביקורת מדעית וטרם פורסם.

אבישי, מ., 1975. דו"ח ביניים מספר שלוש בשמירת טבע בישראל, מחקרים וסקרים בעריכת עוזי פז, הוצאת רשות שמורות הטבע.

גליל, י., 1961. קינטיקה של גיאופיטים. הוצאת הקיבוץ המאוחד.

Abstract

The Nazareth Iris (*Oncocyclus* (Siems.) Baker *Iris*: Iridaceae) is a rhizomatous geophyte endemic to a few small and isolated populations in northern Israel and Jordan. The plant is dormant during the summer and grows a 30-50 cm tall leaf fan during the winter. In the spring one flower may appear. The Iris has two different production systems. Vegetative growth is through the rhizome extensions which are developed towards the end of the growing season, resulting in clones of genetically identical ramets. Sexual reproduction occurs via pollination of the flowers by the Ucera bee (*Eucera* spp). The sexual reproduction is known to have low fruit set and small numbers of seeds per fruit, probably due to the plant's self incompatibility and the weak plant-pollinator interactions. This study was initiated following reports by the Israel Nature and Parks Authority wardens of a continuous decline of the Iris plants in a nature reserve dedicated to the species' conservation (the Nazareth Iris Reserve). This research studied processes in Iris population including reproduction and competition and tested the effectiveness of various management options in boosting its current state.

The Nazareth Iris Reserve has an area of 13 hectares on the eastern slopes of the Nazareth hills. The reserve was declared in 1963 after a long time in which the area was used by locals for goat grazing, gathering of edible wild plants and, in part of the reserve's area, for traditional agricultural tilling. Since its declaration all activity in the reserve except of hiking and occasional grazing was prohibited. The wardens of the Nature and Parks Authority who manages the reserve reported of a decline in the Iris plant numbers and flowering rates in the last two decades. Three aerial photographs of the reserve taken at times around its declaration and up to date were analyzed using a GIS system. This analysis and visual inspections in the area reveal that the sparse woody plants' coverage (mostly Prickly Burnet, *Sarcopoterium spinosum*) at the time of declaration has grown in the former agricultural fields by more than 100%. This finding points at the Prickly Burnet as a probable competitor to the Iris in the reserve. Other possible competitors are herbaceous plants and caterpillars of Ocnogyna Tiger Moth *(Ocnogyna loewii*).

Statistical testing of the spatial distribution of the Iris relative to the Prickly Burnet's aerial coverage revealed a significant impact of the Prickly Burnet on the Iris plants. It was clearly shown that the Iris plants tend to grow outside the Prickly Burnet bushes. Moreover, the smaller number of leaves and the larger length-to-width ratio measured in leaves of Irises growing within the Prickly Burnet are significantly different than the corresponding morphological characteristics of Irises growing in open areas. This finding points to a competitive exclusion of the Iris by the Prickly Burnet through deprivation of light or other resources. Similar impact but with a much smaller magnitude was observed in the Irises growing within tall grass cover.

A few options for an active management of the Nazareth Iris in the reserve were studied during three field seasons. In the spring of 2002 the locations of all the Iris plants (more than 1000 plants) and flowers in 24 research plots, each of an area about 25 m^2, were recorded using a GPS-RTK system with a quoted accuracy of 5 cm. Due to field constraints the actual mapping accuracy was about 30 cm. The impact of removal of the Prickly Burnet, depression of the grass cover and extermination of the Ocnogyna Tiger Moth caterpillars was tested in the spring of 2003 and 2004. The number of

flowers in the plots where the Prickly Burnet was treated was also determined in 2006. The precision of mapping using the GPS-RTK system enabled an accurate analysis of the flowering patterns in the plots and it may enable future analysis of the propagation of the Iris plants into areas hitherto empty of Irises. However, due to the field constraints, this analysis did not fulfill the expectation that every single plant would be followed throughout the field seasons. Analysis of the data was carried out using a GIS system and it showed an increase (not statistically significant however) of the number of Iris plants in the plots from which the Prickly Burnet was removed. A decrease in the number of plants was observed in the plots where the grass cover was depressed, probably due the activity of moles (*Nannospalax ehrenbergi*) which seemed to be especially attracted to these plots and ate the rizhomes of many Iris plants.

The natural sexual reproduction was studied in the Nazareth Iris Reserve's population and in the stable population of Mt. Yona, 1.5 km from the reserve. Sexual reproduction enables adaptation of plants to changing environmental conditions and may be crucial for a species' survival. Seed setting rates in both sites were similar (12% and 15% in Mt. Yona and the reserve, respectively). The pollination experiment revealed that artificial pollination in the reserve by pollen from reserve donor flowers significantly increased both the seed setting rates and the number of seeds per fruit. Artificial pollination of flowers by remote pollen source (pollen from the reserve used to pollinate in Mt. Yona and vice versa) proved to be more effective than pollination by pollen from flowers within each site, significantly increasing seed setting and seed numbers in both sites. A self pollination experiment and sampling of the natural pollinator numbers in the flowers were also carried out. The number of ovules in broken buds and flowers that were found during the field work was counted. The pollination experiments were large in both their complexity and the number of flowers involved. Their results add to our knowledge of the seed setting rates and the numbers of seeds per fruit produced by natural pollination which were not known until now. In addition, this thesis documents in the first time the phenomenon of seed setting abortion as a self incompatibility process.

The conclusions of this thesis lead to the following management recommendations: (1) Treatment should be expanded to areas around the plots which favorably reacted to it. (2) The research plots where the Prickly Burnet was removed should be tracked before making decisions regarding the rest of the reserve. (3) Depression of grass cover should not be applied. (4) To increase the seed production in the reserve, artificial pollination should be carried out. Use of pollen from a remote site is preferable however, care must be taken that the pollen donors will not be from a site too far away from the reserve because of the possibility of such pollen changing the gene pool in the reserve in directions others than the natural evolutionary processes of adaptation to the local conditions.

Table of contents

Abstract…….……1

1. Introduction…….……...3

1.1 The Iris bismarckiana……..……..……3

1.2 The Iris Reserve……...……...……...4

1.3 Conservation of rare species…….……...……..….……...5

1.4 Ecological disturbance and active management……...……..……...6

1.5 The research's assumptions and goals…….....……..……...7

2. Variations in the vegetation patterns in the last decades……....…..…….....7

2.1 Introduction…….…….....…….7

2.2 Methods……....….…....8

2.3 Results……...……..….....9

2.4 Conclusions……...…….....14

3. The impact of Prickly Burnet on the Iris……..…….....14

3.1 Introduction…….……...…….14

3.2 Analysis of representative cross-sections……..…….…….14

3.2.1 Methods……..……..……...……15

3.2.2 Results…….16

3.2.3 Conclusion and discussion…….…….17

3.3 The impact of competition on morphological parameters of the Iris…….….17

3.3.1 Introduction……...…….….17

3.3.2 Methods……..….……18

3.3.3 Results…….19

3.3.4 Conclusions…….……21

4. Studying managements options for the reserve…….21

4.1 Introduction…….…...…….21

4.2 Description of the experiments……..…….……23

4.2.1 Description of the treatments…..……...……..23

4.2.2 The research plots……..…..…23

4.2.3 Mapping of the Irises in the plots……24

4.3 Studying the variations in the numbers of plants in the plots……..…..…..26

4.3.1 Introduction……...…….26

4.3.2 Methods……...……27

4.3.3 Results…….……28

4.3.4 Discussion……...…….29
4.4 Studying the flowering patterns in the plots…….…...…..……29
4.4.1 Introduction……...…….…….29
4.4.2 Methods……...……29
4.4.3 Results…….30
4.4.4 Discussion……..…….…….32
5. Studying aspects of the sexual reproduction of the Iris……....….……..35
5.1 Introduction…….....……..….……35
5.2 The flower structure and the pollination mechanism…..……...….……37
5.3 The study area…….……..……...……37
5.4 Methods……...……38
5.5 Results……..……...……39
5.6 Conclusions and discussion…….…..……..…43
6. Conclusions and managements recommendations……...…….……45
6.1 Propagation of the Prickly Burnet cover in the reserve and its impact on the Iris…….……...…45
6.2 Active management options…….……...……45
6.3 Planning and execution of the experiments…….……45
6.4 Sexual reproduction…….……..……..46
7. Appendices……...…….……47
7.1 Statistical methods…….…….….……47
7.1.1 Binomial test…….…….…….….47
7.1.2 Mann-Whitney test…….……..…….…….47
7.1.3 Fisher's exact test…….……..……..……48
7.2 Additional tables……..…….……..….……49
8. Bibliography…….…….……50

List of Figures

Figure 1 The spatial distribution of the *Iris bismarckiana* in Israel. The white spots mark areas where Iris *bismarckiana* populations can be found……..…….4

Figure 2 The Nazareth Iris Reserve and its environs……..……..……..5

Figure 3 An aerial photograph from 2002. Areas A and B are delineated in black…....8

Figure 4 Aerial photographs from different years of the reserve. The area where the Prickly Burnet coverage was digitized is delineated by a blue line. The Prickly Burnet bushes are marked by red lines. (a) A 1960 photograph, (b) a 1990 photograph, (c) a 2002 photograph…….……...…13

Figure 5 Locations of the cross sections……15

Figure 6 The measured morphological parameters of the Iris plants……16

Figure 7 The length to width ratio of leaves as a function of the height of the Prickly Burnet…….....19

Figure 8 Locations of the research plots in the reserve by treatment type. Grass control in red, caterpillar extermination in black, grass depression in blue, Prickly Burnet control in orange, Prickly Burnet cutting in pink, Prickly Burnet burning in turquoise…….……...…22

Figure 9 Schematic plot of the Global Positioning System……...…25

Figure 10 A plot with the Iris locations data from the three mapping seasons. Locations of the plants are represented by circles of different colour for each season. The circles at the corners of the plot mark the metal pegs that are used to mark its location…….…..……26

Figure 11 Demonstration of the term "flowering site" and the sorting to success or failure in a schematic plot ……..……32

Figure 12 (a) A photograph of an *Iris bismarckiana* flower and its main components. (b) Schematic plots of a pollination unit……37

Figure 13 The Nazareth Iris reserve (NIR) and Mt. Yona (MTY) populations on the eastern slopes of the Nazareth hills…….……...38

List of Tables

Table 1 Sorting of rarity types in nature by geographical extent, habitat specifications, and population size (following Rabinowitz 1981)…….…..6

Table 2 The Prickly Burnet coverage percentage in the study area……...……10

Table 3 Distribution of the Iris plants relative to the Prickly Burnet……16

Table 4 Summary of the morphological parameters that were measured in Irises within and outside the Prickly Burnet coverage……19

Table 5 Summary of the morphological parameters measured in Irises in the control plots (with grass coverage) and the plots where the grass was depressed…..…20

Table 6 The number of flowers in the Prickly Burnet treatment plots and their control plots in the years 2002, 2003, 2004 and 2006……29

Table 7 The success rate (see definition in the text) in the various flowering site groups……..……29

Table 8 Sorting of the flowering sites to testing and control groups for three different statistical tests, and the corresponding statistical significances values…..……34

Table 9 The number of plants in the plots in the three research seasons……...……34

Table 10 The statistical significance of the differences in the plant numbers in the plots……41

Table 11 The sample size, number of seed settings, number of failures (in parentheses the number of abortions)……41

Table 12 The results of the statistical testing of the seed setting rates and the seed numbers samples……42

Table 13 The number of seeds in the undamaged fruits produced by each of the treatments……...43

Table 14 The number of ovules in the broken flowers and buds……...……43

Table 15 The number of flowers in the various research seasons in the plots where the impact of the Prickly Burnet's impact was studied…….……49

The Research Thesis was Done Under the Supervision of Dr. Yohay Carmel in the Faculty of Agricultural Engineering.

The generous financial help of the Technion is gratefully acknowledged

Ecological Aspects of the *Iris bismarckiana* Population in the Iris Reserve for Development of Reservation Management

Research Thesis

Submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Science in agricultural Engineering

Bosmat Segal

Submitted to the Senate of the Technion – Israel Institute of Technology

Tevet, 5767 Haifa December, 2006

Ecological Aspects of the *Iris bismarckiana* Population in the Iris Reserve for Development of Reservation Management

Bosmat Segal