אופטימיזציה של הפיזור המרחבי בתוכנית החיסון האורלי לכלבת בגליל

<u>מוגש ע"י:</u>
עמית דולב

<u>תקציר</u>

הכלבת הינה מחלה נגיפית קטלנית הנפוצה בקרב כלביים. המחלה תלויית צפיפות ובעלת תקופת דגירה ארוכה, והיא מאופיינת בהתפרצויות מגפתיות עם מחזוריות של כחמש שנים. המחלה עלולה להיות מועברת לבני אדם על ידי נשיכה, ולאחר הופעת הסימפטומים, היא חשוכת מרפא. עקב הסימפטומים הקשים וחוסר היכולת לטפל בה, נחשבת המחלה כאיום משמעותי לציבור. ההשלכות הכלכליות של המחלה הינן רחבות מאד והן כוללות טיפול באנשים שנחשפו לחיות החשודות כמעבירות כלבת, לצד נזקים במשק החקלאי. בשנת 1997 הגיעה רק עלות הטיפול הרפואי באנשים שנחשפו, לכ- 17 מיליון ש״ח. מניעת התפרצות המחלה אפשרית על ידי הקטנת מספר הפונדקאים הפוטנציאליים. חיסון אוראלי לכלבת, מהווה כיום את השיטה היעילה ביותר להקטנת מספר הפונדקאים הפוטנציאליים, ומשמש כאלטרנטיבה לירי ופגיעה באוכלוסיות גדולות של חיות בר. החיסון האורלי מתבצע על ידי פיזור פיתיונות המכילים תרכיב חיסון, בשטח המוגדר כנגוע בכלבת. הצלחת החיסון האורלי מותנית בחיסון חלק ניכר מאוכלוסיית היעד (מעל 60%) באזור הגיאוגרפי בו מצויה הכלבת לאורך זמן. משמעות הדבר שחיסון אורלי יעיל דורש משאבים ניכרים של מימון, זמן עבודה, ופעילות לוגיסטית מורכבת.

בישראל השועלים הינם הנשאים העיקריים של המחלה. כתוצאה מעלייה בכמות החיות הנגועות בכלבת בשנים האחרונות, מופעלת מזה ארבע שנים תוכנית חיסון אוראלי בגליל. בדומה לשאר המקומות בעולם בהם קיימת תוכנית חיסון אוראלית, התוכנית מבוססת על פיזור אחיד של הפיתיונות על פני כל מרחב התפוצה של הפונדקאים. עלות התוכנית המבוצעת בגליל הינה כ- 2,000,000 ש״ח בשנה. הגליל מאופיין על ידי מספר רב של ישובים קטנים שעקב תנאי סניטציה ירודים, צפיפות הכלביים בסביבתם, ככל הנראה, גבוהה בהרבה מצפיפותם באזורים המרוחקים מהישובים. כאשר צפיפות הפונדקאים משתנה בצורה משמעותית על פני המרחב ייתכן ודפוסי פיזור (של החיסון האורלי) שאינם אחידים ומותאמים לדפוס פיזור הפונדקאי יהיו יעילים יותר מבחינת ביעור המחלה ועלויות תוכנית החיסון. מודל ראשוני שפותח באוניברסיטת בן גוריון מראה שאכן במצבים כאלה ניתן ליעל את החיסון על ידי שימוש בגישה המבוססת על תיאוריית אוכלוסיות-על (metapopulation). עם זאת המודל מראה שלא ניתן לעשות הכללות ושיש צורך במידע מפורט על הדינמיקה והפיזור המרחבי של הפונדקאי באזור הגיאוגרפי בכדי להבטיח את יעילותם של דפוסי פיזור שונים. מטרת מחקר זה הינה לפתח מודל לדינמיקה של מחלת הכלבת בגליל, שבו יתואר המרחב בצורה ריאלית על פי צפיפות הפונדקאים המוערכת באזורים השונים. המודל יתאר את דינמיקת הפונדקאי תוך שימוש ב-Lesley Matrix עם מערכת משוואות הפרש על פי May and Anderson (1979) למחלות מדבקות ויהיה מבוסס-פרט. מידע על דפוסי השימוש במרחב, קצב ההגירה, צפיפות ומידע דמוגרפי אודות השועלים נאסף ממעקב רדיו טלמטרי אחר פרטים ממושדרים. המודל ייבחן את יעילותם של דגמי פיזור שונים לפיתיונות נושאי התרכיב ויאתר את שלושת דגמי הפיזור הטובים ביותר.

עבודת השדה במחקר זה, המסוכמת בזאת, משווה את דפוסי השימוש במרחב של השועל המצוי בין פרטים שנמצאו ביישובים ״עתירי מזון זמין״ לבין פרטים שנמצאו באתרים/יישובים בהם לא מגדלים עופות, ומספקת את הפרמטרים הדרושים לפיתוח המודל. עקב רמת סניטציה נמוכה של

פסדי עופות, צפיפות השועלים מסביב לישובים אלה צפויה להיות גבוהה יחסית עקב ריבוי משאבי מזון זמינים. המחקר מתמקד בהבדלי צפיפות, דפוסי הפצה ודינמיקה של תנועת שועלים בגליל.

בשנים 2002-2004 מושדרו 76 שועלים מצויים בגליל ב-9 אתרים/ישובים שונים הנחלקים לשני סוגים הנבדלים ברמת הסניטציה בהם - אתרים "אדומים" (יישובים בעלי תנאי סניטציה ירודים, בעיקר פגרי עופות), ואתרים "ירוקים" (יישובים ואתרים בהם הסניטציה סבירה). כמו כן נערכו תצפיות רכובות בעזרת פנס רב עוצמה, וחתכי דריסות, לבחינת ההבדלים היחסיים בצפיפות השועלים במרחב. בחינת ההבדלים בצפיפות השועלים נעשתה בעזרת תוכנת Noremark המבוססת על פרופורציית הפרטים הממושדרים מתוך כלל הפרטים הממושדרים בתא שטח מסויים באותה יחידת זמן.

תוצאות המחקר מלמדות עד כה: 1) טווחי תנועה אופייניים של השועלים במרבית השנה הינם של מספר מאות מטרים מאזור הלכידה. 2) נמצא שאין הבדל מובהק בגודל תחומי המחיה בין האזורים ה"אדומים" לירוקים". 3) הגירה (dispersal) – נצפתה אצל שועלים תת-בוגרים בעונת הסתיו לטווחים של 5-15 ק"מ. הגירה זו נצפתה כמעט רק אצל זכרים. 4) צפיפות הפרטים המחושבת באזור יישובים המתמחים בגידול עופות היא כ-20 שועלים לקמ"ר לעומת צפיפות באזורי הביניים שהיא נמוכה מ-5 שועלים לקמ"ר. 5) "יישובי לולים" מהווים מקור להפצה של שועלים במרחב, כשמרבית התנועות ארוכות הטווח נעשות בין יישובים.

בסיס ידע זה מהווה את הבסיס לפיתוח מודל התפשטות מרחבית של השועלים, ככלי ליצירת מודל אופטימיזציה לפיזור החיסון האוראלי המבוסס על מרחב אמיתי - Spatially realistic model. מודל זה יאפשר הבנה טובה של דינמיקת השועלים כנשאי כלבת בגליל בד בבד עם המלצות מעשיות לגבי דפוסי החיסון במרחב שיהיו זולים יותר ויתרמו לביעור מהיר יותר של מחלת הכלבת.

מבוא כללי

מחלת הכלבת ותפוצתה בישראל

מחלת הכלבת היא מחלה נגיפית קטלנית הנפוצה ברחבי המזרח התיכון מהאזורים הים תיכוניים ועד לאזורים היובשניים. המחלה קיימת בעיקר בטורפים ממשפחת הכלביים ומועברת על ידי מגע ישיר (נשיכה וליקוק) מפרט חולה לפרט שאינו נגוע (Anderson et al. 1981). הנגיף חודר למערכת העצבים דרך השלוחות הפריפריאליות ועושה דרכו אל המוח. בשלבים הראשונים (לפני הגעת הנגיף למוח) המחלה הנה א-סימפטומטית ואינה מדבקת. שלב זה מוגדר כתקופת הדגירה, כאשר תקופה זו יכולה לארוך עד כששה חודשים. בשלב הסימפטומטי (פרטים חולים) למחלה סימנים רבים, החל בהתקפי זעם ונשיכות לא מבוקרות, וכלה בשיתוק, חוסר יכולת בליעה, חנק, ולבסוף - מוות. פרטים בריאים, או פרטים נגועים בהם הנגיף טרם חדר למערכת העצבים המרכזית - ניתנים לחיסון, אולם לאחר חדירת הנגיף למערכת העצבים המרכזית - המחלה חשוכת מרפא. העברת המחלה לאדם, מתבצעת לרוב ע״י נשיכה או מגע של רוק בפצעים פתוחים ורקמות ריריות. עקב הסימפטומים הקשים וחוסר היכולת לטפל בה (מחלה סופנית), נחשבת המחלה כאיום משמעותי לציבור, והתפרצויות של המחלה גורמות לחרדה בקרב הציבור. ההשלכות הכלכליות של המחלה הינן רחבות מאד והן כוללות טיפול באנשים שנחשפו לחיות החשודות כמעבירות כלבת לצד הנזקים במשק החקלאי. עפ״י הערכות משרד הבריאות, בשנת 1997 בה הוכפל מספר הפונים ללשכות הבריאות לקבלת טיפול למניעת כלבת, הגיעה עלות הטיפול הרפואי באנשים שנחשפו ל-16.8 מיליון ש״ח (א.לבנטל וא. אניס, 1998).

בשנים 1996-1999 אובחנו מעל 300 מקרי כלבת בבעלי חיים בישראל, כאשר 75% מהנשאים היו שועלים (Yakobson 2000). מתוכם אובחנו בשנים אלה 58 מקרי כלבת במקנה (בקר וצאן) שהיוו מעל 20% ממקרי הכלבת, כמעט בכל אחת מהשנים הנ״ל (Yakobson 2000). מבחינה גיאוגרפית, נפוצה הכלבת על פני כל הארץ, אולם מעל 70% ממקרי הכלבת המתועדים היו מהגליל (Yakobson et al. 1998). פיזור מקרי הכלבת שנמצאו במקנה בשנים הנ״ל מראה ש-98% היו בגליל ובגולן (Yakobson 2000).

כמחלה מדבקת, דינמיקת התפשטות הכלבת תלויה בצפיפות הפונדקאים הפוטנציאליים ומאופיינת בהתפרצות מגפתית מחזורית כפונקציה של צפיפות האוכלוסייה (Riley et al. 1998). באירופה, בה הפונדקאים העיקריים לכלבת הם שועלים, מוכרת התפרצות מחלת הכלבת במחזוריות עונתית המאופיינת בכמות מקרים רבה ביותר בחודש מרץ, ובמחזוריות שנתית של 3-6 שנים, כאשר התפרצות זו תלויה בצפיפות השועלים (Greenhall et al. 1993). בישראל מחזוריות התפרצות המחלה היא בערך 5-7 שנים כשכמות המקרים הרבה ביותר בקרב שועלים ותנים תועדה בעונת הסתיו (Yakobson et al. 1998). דינמיקה זו של התפרצות המחלה, מתוארת על ידי המודל המתמטי של May and Anderson (1979) למחלות מדבקות קטלניות ללא אפשרות של התחסנות פרטים עקב חשיפה למחלה. כאשר צפיפות האוכלוסייה נמוכה, ההסתברות לכך שפרט חולה יבוא במגע עם פרט בריא לפני מותו נמוכה מ- 1.0 (כלומר, פרט חולה צפוי להדביק פחות מפרט אחד

בממוצע), והמחלה תדעך. כתוצאה מכך התמותה מהמחלה תרד והאוכלוסייה תגדל. עם עליית צפיפות האוכלוסייה, תגדל הסתברות למגע בין פרט חולה ופרט בריא. כשצפיפות האוכלוסייה תעבור את הנקודה בה הסתברות המגע בין פרט חולה ובריא גדולה מ- 1.0 (כלומר, פרט חולה צפוי להדביק יותר מפרט אחד בממוצע) תתפרץ המחלה (Riley et al. 1998). צפיפות זו נקראת צפיפות סף - threshold density. ביעור המחלה, יכול להיעשות על ידי הורדת צפיפות הפונדקאים הפוטנציאלים אל מתחת לערך הסף.

<u>דינמיקת ההתפשטות של מחלת הכלבת ודרכי ממשק</u>

הבנת הדינמיקה המרחבית של מחלה מדבקת, קריטית מתוך ניסיון לחזות ולעצור את התפשטותה. השועל נבחר כמין המחקר לבחינת התפשטות המחלה, היות ונמצא ש-75% ממקרי הכלבת שארעו עד כה בארץ נמצאו בשועלים (Yakobson 2000) ומכאן שמין זה מהווה את הווקטור העיקרי בהפצת המחלה במרחב.

ישנם שלושה סוגים של מודלים להערכת רמת ההתחסנות ושיעור דילול הפרטים הנחוץ בכדי לבער את המחלה מאוכלוסיות הבר:

1. Implicit models – מודלים אלה כדוגמת זה של May and Anderson (1979), מתבססים על הפרמטרים המשפיעים על דינמיקת הפונדקאי ונגיעות המחלה, ומתוכם ניתן לחשב את צפיפות הסף הדרושה לביעור המחלה. עם זאת, למודלים שכאלה מגבלות שמקטינות את יכולת החיזוי שלהם. מודל זה הינו מודל אנאליטי שבו המרחב אינו מוגדר (spatially implicit), וקיימת הנחת בסיס של פיזור הומוגני במרחב של הפונדקאים. כתוצאה מכך מיקום הפרטים החולים אינו מפורט וספציפי. משמעות הדבר שלפי מודל זה, יכול כל פרט להדביק כל פרט אחר על פני המרחב ללא תלות במרחק ביניהם וללא התייחסות לשינויי צפיפות הפרטים במרחב.
2. Spatially explicit models - מודלים מתקדמים יותר העושים שימוש במרחב מוגדר (spatially explicit), ומבוססים על מיקום הפרטים במרחב – מודלים מבוססי-פרט (individually based models). מודלים אלה מתארים את המרחב כמטריצה היפותטית פשוטה, כאשר צפיפות הפרטים ומצבם נגיעותם במחלה מחושב בכל תא בנפרד. תנועותיו של כל פרט מוגדרות על פני המרחב כמעבר בין תאי המטריצה. חסרונם של מודלים אלה שהם אינם מציגים מרחב מציאותי, והנחת היסוד שלהם (לרוב) שתנאי ההתחלה (השטח) בכל התאים זהים.
3. Spatially realistic models – מודלים אלה מבוססים על נתוני שדה שנאספו במרחב אמיתי, תוך העזרות בטכניקות של מערכת GIS. יתרונם בקבלת מידע מרחבי אמיתי על דינמיקת התפשטותם של אוכלוסיות הפונדקאים, תוך שילוב גישות לניתוח המידע מבוססות על Landscape ecology.

במחקר זה, בוצע איסוף נתונים מהמרחב הגיאוגרפי של הגליל אחר אוכלוסיות שועלים, כבסיס ליצירת מודל להתפשטות מחלת הכלבת.

ממשק נדרש לביעור המחלה, מבוסס על הקטנת צפיפות הפונדקאים הפוטנציאליים אל מתחת לצפיפות הסף. פעילות זו יכולה להיעשות בשתי דרכים:

א. דילול ישיר - הוצאת פרטים מהאוכלוסייה על ידי ירי או כל פגיעה אחרת.

ב. חיסון אוראלי (oral rabies vaccination - ORV). החיסון האוראלי הינו פרי פיתוח של עשרים השנים האחרונות (Brochier et al. 1991) ומהווה פריצת דרך בביעור מחלת הכלבת. במצב זה, החיסון גורם להקטנת צפיפות הפונדקאים הפוטנציאליים, למרות שאין הקטנה בפועל של גודל האוכלוסיה (ואולי אף להיפך, כתוצאה מהסרת גורם מווסת באוכלוסיות – מחלת הכלבת).

יעילותן של שתי השיטות תלויה בדינמיקה של הנשאים. במינים בהם קיימים שיעורי ילודה ותמותה גבוהים ("r-selected") – קטנה יעילותו של החיסון האוראלי כתוצאה מתחלופה גבוהה של הפרטים - תמותה גבוהה של פרטים מחוסנים וגיוס גבוה של פרטים שאינם מחוסנים (Barlow 1996). במינים שבהם שיעורי הילודה נמוכים ("K-selected"), גדלה יעילותו של החיסון מאחר ושרידת הפרטים גבוהה יותר וגיוס הפרטים נמוך (כאשר האוכלוסיה קרובה לכושר הנשיאה של השטח). כתוצאה מכך, תחלופת הפרטים איטית ואין "אובדן" מהיר של פרטים מחוסנים. בנוסף לכך, במינים שכאלה, בהם התגובה המספרית לצייד תלויית צפיפות וגבוהה במיוחד - גיוס מוגבר (Fowler 1988), מגביר הדילול את קצב הגיוס של פרטים לא מחוסנים. מאחר והכלבת נישאת בעיקר על ידי טורפים ("K-selected"), צפויה שיטת החיסון האוראלי להיות יעילה יותר.

דילול ישיר של פרטים ע"י ירי (או כל שיטה אחרת) גורם להקטנת הצפיפות של הפרטים הנגועים והפרטים שאינם נגועים בשיעור דומה (Barlow 1996). שיטה זו נמצאה לא יעילה, ונכשלה בשליטה על התפשטות מחלת הכלבת בארצות אירופה (Brochier et al. 1991; Farry et al. 1998). בחינת היקף מקרי הכלבת בישראל בין השנים 1948-1998 (Yakobson 2000), שבה היתה מדיניות של דילול שועלים ותנים כאמצעי למניעת התפשטות המחלה, אינה מלמדת על הצלחה בהקטנת שיעור מקרי הכלבת.

מנגד, נמצא באירופה שחיסון אורלי של אוכלוסיות שועלים הינו שיטה מוצלחת להתמודדות עם התפשטות הכלבת (Brochier et al. 1991; Fu 1997). החיסון נעשה על ידי פיזור פיתיונות המכילים את התרכיב. בכדי להבטיח ביעור של נגיף הכלבת מאזור מסוים, קיים צורך בחיסון של 70% (לערך) מהפרטים באוכלוסייה (Brochier et al. 1991; Barlow 1996; Tischendorf et al. 1998) על פני כל מרחב התפוצה של הנשא. בכדי להגיע לרמות החיסון הדרושות על פני מרחב התפוצה נעשה פיזור אחיד של הפיתיונות מהאוויר על פני כל המרחב הנדרש בעזרת מסוקים ומטוסים קלים. פעולה זו דורשת מאמץ כספי ולוגיסטי משמעותי ומכאן נובע חסרונה העיקרי של שיטה זו. יתרה מזאת, כיוון שהפרטים הצעירים הנולדים מדי שנה אינם מחוסנים, החיסון האורלי הינו תהליך מתמשך וארוך טווח, הדורש השקעת מאמץ באזורים נרחבים. בישראל החלה להתבצע תוכנית של חיסון אוראלי נגד

כלבת בשנת 1999. התוכנית התמקדה בשנים הראשונות בעיקר באזור הגליל ועלותה השנתית כ-2,000,000 ש"ח.

עד עתה, ניתנה תשומת לב מועטה לדגם הפיזור של הפיתיונות המכילים חיסון אורלי לכלבת. תוכניות החיסון האורלי לכלבת, כוללת פיזור הפיתיונות בשטחי המטרה שבהם מרוכזת אוכלוסיית היעד שעלולה לשאת כלבת, בשיטה של פיזור אחיד על פני השטח. אזורי הספר בישראל, ובמיוחד בגליל, מאופיינים על ידי מספר רב של ישובים קטנים שלכל אחד מהם אתר פסולת לצידו. עקב רמת סניטציה נמוכה, הכוללת גם השלכת פגרי בע"ח (בעיקר עופות) בתחומי היישובים, צפיפות השועלים מסביב ובתוך ישובים אלה צפויה להיות גבוהה ביחס לשטחים שבין הישובים. על פי מחקרים באזורים אחרים בעולם צפיפות השועלים מושפעת מאוד ממקורות המזון וממציאות אדם. מסביב לאזורים מיושבים מגיעה צפיפות הכלביים עד לפי 15 מצפיפותם באזורים עם השפעה אנטרופוגנית מוגבלת (Coman et al. ,Cavallini and Lovari 1994, Cavallini 1996, Adkins and Scott 1998 1991). כתוצאה מכך, תפוצת השועלים על פני המרחב צפויה להיות בעלת שונות גבוהה, הכוללת אזורים עם כתמים צפופים בשטחים שבקרבת יישובי אדם, ואוכלוסיות "רקע" בעלות צפיפות נמוכה באזורים האחרים. במצב זה יעילותה של שיטת החיסון האוראלי המפוזר באופן אחיד במרחב, עשוייה להיות נמוכה באופן משמעותי מדגמי פיזור אחרים. מכאן ששימוש בדגמי פיזור אחרים עשוי להביא לביעור מהיר יותר של המחלה לצד הקטנה משמעותית במאמץ הנדרש ובעלויות הביצוע.

השועל - רקע ביולוגי

<u>**מחלת הכלבת ודינמיקה של אוכלוסיית-על**</u>

כיתמיות חזקה עשויה לאפשר למחלה דינמיקה ייחודית בה שולטים העקרונות של אוכלוסיית-על (metapopulation - Levins 1969), הכוללים בין השאר גם יחסי אוכלוסיית מקור-מבלע (Sink-Source) (Hanski and Gilpin 1997). אוכלוסיית-על היא אוכלוסייה שמורכבת מתת-אוכלוסיות המתקיימות בכתמים נפרדים במרחב. לכל תת-אוכלוסייה דינמיקה וסיכויי הכחדה שונים. הקשר בין תת האוכלוסיות הוא על ידי הגירה מתת-אוכלוסייה אחת לאחרת, וקיומה של אוכלוסיית-על מותנה באיכלוס כתמים ריקים (כתוצאה מהכחדה) על ידי מהגרים. אוכלוסיית מבלע (Sink population) היא אוכלוסייה בעלת שיעור גידול שלילי לאורך זמן שהמשך קיומה תלוי בהגירה מתמשכת מאוכלוסיית מקור (Source population). קטיעת הזרימה הגנטית בין תת-האוכלוסיות תביא להכחדתה של אוכלוסיית העל והשמדת אוכלוסיות מקור תביא להיעלמותן של אוכלוסיות מבלע.

לבסיס התיאורטי באקולוגיה של אוכלוסיות-על, דמיון רב למדע האפידמיולוגיה העוסק בחקר מגיפות (Grenfell and Harwood 1997; Hanski 1998). בשניהם מותנה קיומה של האוכלוסייה בזרימה גנטית בין כתמים, כאשר כל תת-אוכלוסיה מתקיימת ב"כתם" נפרד ובעלת דינמיקת גידול משלה. במצב בו הפונדקאי נפוץ במרחב בצורה כיתמית, גם לדינמיקה של הפונדקאי אלמנטים של

אוכלוסיית-על. במקרה של כלבת, כל פונדקאי הינו תת-אוכלוסיה עבור המחלה, כאשר איכלוס "כתם" חדש מתבצע ע"י מגע ישיר בין פרטים של פונדקאים.
באזורים בהם הפונדקאים מרוכזים סביב ובתוך יישובי אדם, הדינמיקה דומה אף היא ל-metapopulation, בכך שבעה"ח נמצא בתוך "כתם" מבודד של פונדקאים המצויים בצפיפות גבוהה. קיים הבדל מ-metapopulation קלאסי, בכך שקיימות אוכלוסיות קבועות של פונדקאים בין "כתמים" בעלי צפיפות פרטים גבוהה, למרות שצפיפותן נמוכה הרבה יותר. אזורי הביניים (בין הכתמים), בהם צפיפות הפונדקאי נמוכה מצפיפות הסף להתפרצות המחלה, עשויים להוות אוכלוסיות מבלע לנגיף (sink population).

דפוסים אלה מצביעים על כך שפיזור אחיד של תרכיבי חיסון אוראלי אינו אופטימלי ושניתן להגדיל את יעילות החיסון על ידי פיזור לא אחיד בשטח. לדוגמא, כאשר הפונדקאי מפוזר בצורה כיתמית ניתן יהיה לבער את הכלבת על ידי מניעה של זרימה גנטית של הנגיף בין האזורים בעלי צפיפות גבוהה של הפונדקאי על ידי ריכוז מאמץ החיסון באזורי הצפיפות הנמוכה. על ידי כך, לא תוכל המחלה לעבור בין הכתמים שבהם צפיפות הפונדקאי גבוהה, ולאורך זמן היא צפויה להעלם. לעומת זאת, אם "צפיפות הרקע" של הפונדקאי (בין כתמי הצפיפות הגבוהה) נמוכה מצפיפות הסף, מהווים אזורים אלה שטחי מבלע לנגיף וניתן לבער את המחלה על ידי חיסון אזורי הצפיפות הגבוהה בלבד. תנאי מוקדם להצלחתם של שני דפוסי חיסון אלה הוא, שמעבר המחלה מאוכלוסייה צפופה אחת של פונדקאי לאוכלוסייה אחרת אינו נעשה על ידי הגירה ישירה של פרטים מאזור אחד לשני, אלא על ידי שרשרת הדבקות של פרטים בין שני האזורים (stepping stone - Bennnett 1999).

נתונים עדכניים מצביעים על כך שכלבת מתפשטת בסביבה מתחום מחייה אחד לאחר, ורק לעיתים רחוקות מתרחשת התפשטות לטווחים גדולים (Wandeler et al. 1994). מכאן שעל התפשטות המחלה צפויים להשפיע: מרחקי ההגירה, מספר הפרטים המהגרים, והסתברות ההדבקה. גורמים אלו בעלי השפעה רבה על יעילותם של דפוסי חיסון אלו. שתי הדוגמאות מייצגות מקרי קיצון, וסביר להניח שקיים מגוון של מצבים בהם תושג התוצאה המיטבית על ידי שילוב של רמות חיסון שונות בכל אזור.

<u>הגליל כאזור מחקר לבחינת התפשטות מחלת הכלבת</u>

אזורי הספר בישראל, ובמיוחד הגליל, מאופיינים על ידי מספר רב של ישובים חקלאיים קטנים החסרים מערכת ראויה של הסדרת פסולת. ביישובים אלה ובסמוך להם ממוקמים מתקני גידול של בעלי חיים, שבהם קיימת כמות ניכרת של פגרי בעלי חיים שמתים במהלך גידולם. בעוד שבענף גידול הבקר ניתן ברב המקרים פתרון הולם, היעדר מתקני טיפול לפגרי עופות (תרנגולות מטילות, תרנגולות לפיטום ותרנגולי הודו), גורם להשלכתם בצדי דרכים ובמזבלות פתוחות. תופעה זו יוצרת תחנות האכלה "עשירות", ונחשבת כגורם עיקרי לגידול ניכר של אוכלוסיות כלביים סביב ליישובים אלה. שפע המזון מהווה גורם עיקרי להצלחת רבייה גבוהה בקרב טורפים ממשפחת הכלביים (תנים, שועלים, כלבים משוטטים), ומוביל לגידול ניכר בתפוצתם באזורים הסמוכים ליישובים אלה, ובמרחבי הגליל כולו. על פי מחקרים באזורים אחרים בעולם מגיעה צפיפות הכלביים עד לפי 15

מצפיפותם באזורים עם השפעה אנטרופוגנית מוגבלת (Cavallini 1996, Adkins and Scott 1998).
למצב זה, של גידול לא טבעי של אוכלוסיות טורפים בסביבת יישובים, מספר השלכות שליליות:

1. התפרצויות תקופתיות של מגפת הכלבת. מחלה זו הינה חשוכת מרפא, ומהווה סיכון בריאותי וכלכלי בהעברתה לאדם ולמקנהו. התפרצויות שכאלה אירעו כל מספר שנים בעשורים האחרונים, וחלקם הגדול התרחש בגליל.
2. ירידה במגוון המינים כתוצאה מקיום אוכלוסיות גדולות באופן לא טבעי של טורפים. מצב זה מהווה פגיעה ביציבות המערכת האקולוגית ואיום על קיומם של אוכלוסיות נטרפים טבעיות, כתוצאה מלחץ טריפה לא מאוזן. דוגמא לכך מוכרת מהירידה המתמשכת באוכלוסיות הצבאים בדרום רמת הגולן, שמשויכת בעיקר לאוכלוסיות תנים גדולות, שאינן מאפשרות לצבאים להתאושש (זלץ וחובריו 2002).
3. התפתחות מצבי לחץ של התושבים והרשויות כתוצאה מריבוי פעילות טורפים בתוככי יישובים ובשטחים חקלאיים (וגורמים גם לנזקים ממשיים), המספקים עילה לביצוע הרעלות חמורות של חיות בר ע"י חקלאים ותושבי האזורים הללו.

מודל ראשוני

ההנחה שבאזורים עם פיזור טורפים כיתמי, דפוסי חיסון שאינם אחידים עשויים להיות יעילים יותר, נבדקה במודל מחשב ע"י .Bohrer et al (2002). מודל זה היה מבוסס-פרט, ונבנה על בסיס משוואות ההפרש על פי May and Anderson (1979). המרחב הוגדר כמטריצה (Spatially explicit) בו קיימים תאים עם כושר נשיאה גבוה לפונדקאי, המוקפים בתאים בעלי כושר נשיאה נמוך (אוכלוסיית הרקע). הפרמטרים של המשוואות נבחרו בצורה שתיצור התפרצויות של המחלה כל 5-7 שנים, בדומה לנתונים האמפיריים של התפרצות מחלת הכלבת בישראל.
במודל זה נבדקו שישה דפוסי פיזור של פיתיונות החיסון: חיסון הכתמים הצפופים בלבד, חיסון האזורים שמסביב לכתמים הצפופים, חיסון הכתמים הצפופים והאזור הסמוך להם, חיסון ברצועות לאורך ולרוחב באוכלוסיית הרקע, חיסון כל אוכלוסיית הרקע, וחיסון כל המרחב. מסקנותיהם היו:

א. יעילות ORV (Oral Rabies Vaccination) תלויה בדגם הפיזור של החיסון ובדגם התפשטות הפונדקאים.
ב. יעילות ORV בכתמי הצפיפות הגבוהה בלבד, לא היתה אפקטיבית ביעור המחלה.
ג. חיסון אזורי הרקע (לא כולל את אזורי הצפיפות הגבוהה), היה אפקטיבי (תואם את עיקרון metapopulation).

.Bohrer at al (2002) הגיעו למסקנה שלצורך קבלת המלצות ראויות לדגם פיזור החיסון האורלי לכלבת נדרש לבצע מודל מבוסס מרחב ריאליסטי (spatial realistic model) שיבוסס על דפוסי ההתפשטות של הפונדקאים במרחב.
בעבודה נוספת (מערב קונטיקט בארה"ב) הראו .Smith et al (2002) שהתפשטות הפונדקאים למחלה לא היתה אקראית, ושנהרות גדולים שימשו כגבול חדיר למחצה להתפשטות הכלבת. הם הציעו את האפשרות שנהרות אלו יוכלו לשמש כאזורי חייץ סניטריים ("cordon sanitar"), שבהם תבוצע

פעילות חיסון כנגד כלבת (ORV). בכך ניתן יהיה לשמור על אזורים נרחבים נקיים מחדירה של כלבת לתוכם.

מודלים ראשוניים (Dobson 2000, Bohrer 2002) מהווים את הבסיס להנחה שפיזור לא אחיד של פיתיונות עשוי להשיג תוצאות טובות יותר בחיסון נגד כלבת, אך מותנה במידע מפורט על פיזור כתמי הצפיפות הגבוהה במרחב ודפוסי התפוצה של הפונדקאי, כלומר - פיתוח מודל המבוסס על מרחב אמיתי- spatially realistic model (Bohrer 2002, Smith et al. 2002).

הערכות מקדימות, מצביעות על צפיפות גבוהה של פרטים באזורי יישוב, המשמשים מקור להגירת השועלים לאזורי ביניים. תהליך זה נעשה כחלק מתהליך ביסוס תחום מחיה אצל פרטים צעירים בשלבי הפצה, ונעשה אצל פרטים בוגרים לצורך הגעה למפגש בעונת הרבייה. תנועות ארוכות טווח אלה הינן המפתח להבנת הפצת המחלה ע״י שועלים. ניתן לחלק תנועות ארוכות טווח אלו לשתיים:

1) Dispersal – הגירה לאזור חדש והתבססות שם. נעשה לרוב ע״י צעירים.
2) Long range forays – ״מסעות״ לטווח מרוחק מאזור הפעילות, וחזרה אליו לאחר מכן.

הבנת דגמי התנועה במרחב, עונות הפצה, צפיפות פרטים, שרידה, התפלגות גילאים ושיעור ההתחסנות, מהווים פרמטרים חיוניים לפיתוח המודל, הנאספים כיום במחקר השדה.

מטרת המחקר

1. לימוד דפוסי שימוש במרחב של שועלים – הבנת דגמי תנועה כתלות בטופוגרפיה, צפיפות פרטים, קרבה ליישובים, מקורות מזון ואיתור גורמים המשפיעים על תנועה במרחב.
2. לימוד דגם ההפצה של השועלים – הגירה –dispersal (תנועה לכיוון אחד), תנועות ארוכות טווח - long range forays (מסעות ארוכי טווח וחזרה לאזור המוצא), עונתיות הפצה ואזורי התבססות לאחר הפצה.
3. הערכת צפיפויות אכולוסיות השועלים באזורים אדומים וירוקים.
4. לימוד גורמים תלויי זמן – שיעור הצלחת רבייה, שרידה והתפלגות גילאים.
5. פיתוח מודל ריאליסטי מרחבי מבוסס-פרט להתפשטות מחלת הכלבת בגליל כתלות בפרמטרים שנאספו אודות הווקטור להפצת המחלה (שועלים) במחקר השדה.
6. מציאת דגמי פיזור אופטימאליים של החיסון האורלי בכדי לבער את מחלת הכלבת.

פרק א' – קביעת הפרמטרים למודל

מבוא

יצירה של מודל התפשטות של מחלה מחייבת לימוד של הווקטורים העיקריים להפצתה,

הווקטור העיקרי למחלת הכלבת

דינמיקת הפצת המחלה

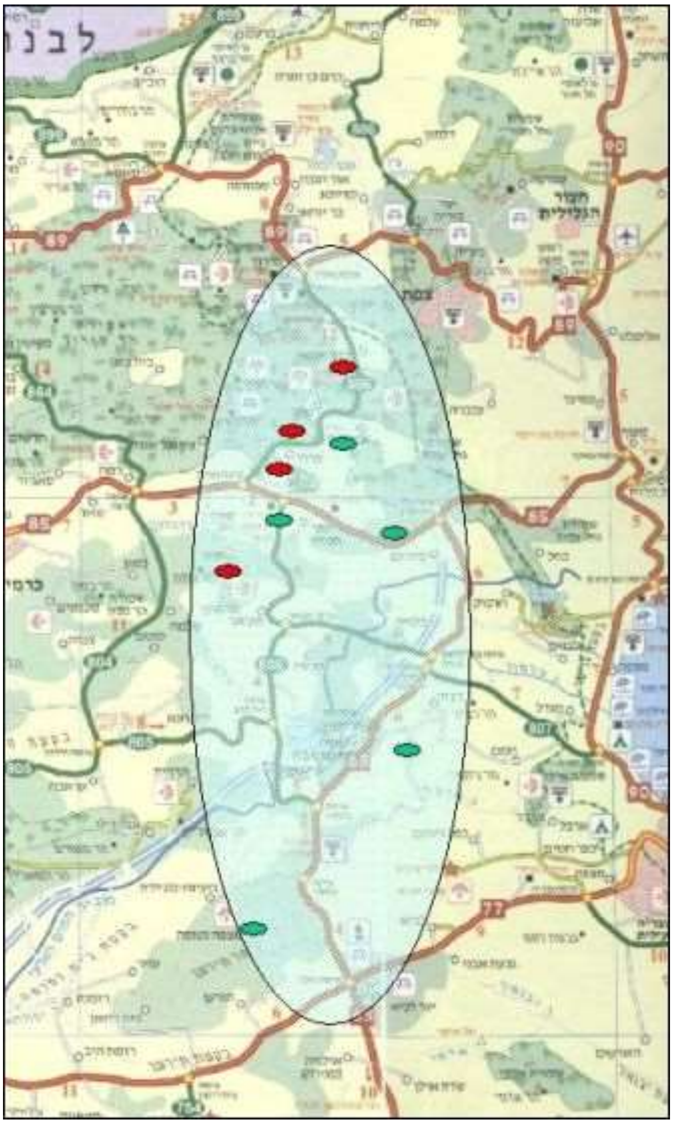
א. דינמיקה של מחלות מדבקות

ב. דינמיקה מרחבית של הווקטור להפצת המחלה

שיטות

אזור המחקר

אזור המחקר ממוקם בגליל העליון והתחתון המזרחי, בתחום שבין מושב מירון בצפון (על מורדותיוהמזרחיים של גוש הרי מירון) לבין אזור צומת גולני בדרום (איור 1). לאורך ציר זה מצויים ארבעה יישובים (בהם מוקמו אתרי לכידה) בעלי בעלי השפעה אנטרופוגנית גבוהה (חזון, פרוד, שפר וכפר-שמאי), כתוצאה מרמת סניטציה נמוכה של פגרי עופות המושלכים בצידי הלולים ובמזבלות פתוחות. מצב זה מהווה תחנת האכלה קבועה לטורפים ביישובים אלה. האזורים שבין היישובים ומסביבם מהווים את אזורי הרקע (backgrounds areas) בעלי השפעה אנטרופוגנית נמוכה. באזורים אלה מוקמו 5 אתרי לכידה (איור 1, ירוק). אזורים אלה כוללים את שמורת נחל עמוד ונחל חנניה ממזרח, שמורת הר מירון ממערב, ושטחים טבעיים, נטועים וחקלאיים בין ומסביב ליישובים לאורך ציר אזור המחקר. אזורי הרקע בגליל העליון מכוסים לרוב בחורש ים תיכוני, לעומת אזורי הרקע בגליל התחתון הכוללים צומח שיחי נמוך ושטחים חקלאיים.



איור 1 – אזור המחקר. עיגולים בצבע אדום – אתרי הלכידה ב"יישובי לולים". עיגולים בצבע ירוק – אתרי הלכידה באזורים טבעיים או ביישובים ללא לולים.

לכידה ומישדור

לצורך התחקות אחר דפוסי תנועת השועלים, נרכשו משדרי רדיו-טלמטריה הכוללים חיישן מוות (Mortality sensor), המיועדים לפעול לפרק זמן של שנה וחצי.

שיטות לכידה – לכידת הפרטים בוצעה בעזרת מלכודות רגל המוסוות באדמה ליד פיתיון שמונח לצידם. נעשה מאמץ לבצע את מקסימום הלכידות בפרק זמן קצר ככל שניתן. העונה המיטבית לביצוע הלכידות הינה הקיץ (חודשים אוגוסט-ספטמבר) בה הפרטים הצעירים מצויים בשלב ראשון של עזיבה של מאורת ההורים ונוחים ללכידה. בשלב זה גודלם קרוב לגודל פרט בוגר, והם עדיין לפני ביצוע התרחקות מנחלת ההורים לחיפוש נחלה חדשה. לאחר לכידה, מורדמת החיה, מוצמד לה משדר רדיו טלמטרי, נקבע גילה והיא מקבלת חיסון נגד כלבת. לאחר התעוררות החיה, מבוצע שיחרורה באתר הלכידה ומתחיל המעקב אחר דפוסי תנועתה.

נעשה ריכוז מאמץ ללכידה של פרטים מתבגרים/בוגרים ביחס של כ-60% מתבגרים ו-40% בוגרים. מאמץ זה כלל הכוונה של עונת לכידה לתקופה בה עוזבים הפרטים המתבגרים את המאורות, וניסיונות לכידה באזור המאורות.

פיזור מרחבי של הלכידות

מוצא הפרטים הוגדר כאזור הלכידה. בוצעו לכידות בארבעה אתרים בעלי השפעה אנטרופוגנית גבוה ובחמישה אתרים בעלי השפעה אנטרופוגנית נמוכה/אתרים טבעיים (איור 1). אזורי הלכידה התבצעו בתחילה בגליל העליון. בהמשך, הורחבו אזורי הלכידות לגליל התחתון שבו לא מתקיימת חקלאות לולים. מצב זה איפשר לבחון טוב יותר את דפוס ההתפשטות המרחבי באזורים שאינם נתונים להשפעה אנטרופוגנית גדולה. בוצעה חלוקה של המשדרים ומאמץ הלכידה בכדי למשדר כמות פרטים דומה בכל אחד מאזורי הרקע והיישובים.

גיל הפרטים

גילם של השועלים נקבע לאחר הלכידה הוערך לפי מצב שיניהם ומאפיינים מורפולוגיים (משקל, היקף צוואר, אורך אמה). הפרטים חולקו לשתי קטגוריות גיל:

1. תת-בוגר – פרטים שנולדו במהלך שנתם הראשונה, וגילם הינו בין 4-8 חודשים.
2. בוגר – פרטים שגילם מעל 8 חודשים. אין כיום שיטה מהימנה לקביעת גיל בשדה משועל חי.

פרטים צעירים מגיל 4 חודשים, לא מושדרו, מכיוון שהמשדר היה כבד מדי ביחס לגודלם. פרטים מעל גיל 8 חודשים זהים בגודלם לבוגר, ולכן הוגדרו משלב זה ואילך כבוגרים.

שרידה

מכשיר הרדיוטלמטריה מספק אות בתדר כפול כאשר בעה"ח לא נע מעל 4 שעות. מידע זה מהווה ציון שכנראה החיה מתה, ואישור לכך מתקבל במציאתה. כמו כן, כל חיה שנלכדה סומנה בתג אוזן (גם אם לא מושדרה). מציאת פרטים מסומנים כשהם מתים או דרוסים, שימשה לקבלת מידע בסיסי לגבי שיעורי התמותה, וחלק מן המידע ששימש להערכת גודל/צפיפות אוכלוסיה באזורים השונים.

הצלחת רבייה

בעזרת התחקות אחר נקבות ממושדרות, בוצע חיפוש של המאורות בעונת ההמלטה, מתוך ניסיון להעריך את ההבדלים בין האזורים בגודל השגר ואת שיעור השרידה של הגורים עד שלב עזיבתם את נחלת ההורים. לצורך כך הונחו מצלמות ווידאו ליד מאורות מאוכלסות, ובוצעו תצפיות ישירות על המאורות בתקופה בה מתחילים הגורים לשוטט באזור המאורה. מידע זה הינו כלי חשוב באיפיון קצב גידול האוכלוסיה במודל באזורים שונים במרחב.

שיעור התחסנות לכלבת

מכל פרט שנלכד נלקחה דגימת דם, שנשלחה לבירור מעבדתי בשרותים הווטרינריים לבחינת נוכחות נוגדנים לכלבת. פעולה זו מאפשרת מידע בסיסי על התפלגות הצלחת החיסון האורלי לכלבת כתלות בצפיפות אוכלוסיית השועלים (לפי אזורי הלכידה) ועונת השנה.

דפוסי תנועה במרחב והגירה

דפוסי הפעילות במרחב וההגירה של הפרטים תועדו על ידי מעקב רדיו-טלמטרי אחר הפרטים הממושדרים. המעקב כלל בממוצע מיקום אחד ללילה לשועל, אחת לשבוע. מידע זה שימש לקביעת תחום המחייה עבור הפרטים. הפרטים הצעירים נוטים להגר ממקום לידתם לטווחים לא ידועים. במקרה זה קיימת חשיבות בלימוד מרחק ההגירה, עונתיות ההגירה ואפיון אזור ההתבססות. מאחר וההגירה מתרחשת לעיתים מעבר לטווח הקליטה הרדיו טלמטרי (מהקרקע), בוצעו טיסות מעת לעת למציאת פרטים שהיגרו מאזור הלידה ולא אותרו מהקרקע. כמו כן אותרו פרטים בוגרים שביצעו תנועות ארוכות טווח.

מעקב אחר החיות הממושדרות בוצע בעיקר בשעות הלילה ובשעות שבין יום ללילה. איסוף המידע נעשה ע"י מדידת אזימוט אל החיה משני אתרים שונים (שמיקומם נקבע בעזרת GPS). מרווח הזמן של מדידת הכיוונים בין שני אתרים הוגבל ל-30 דקות, בכדי להקטין את שגיאת המיקום הנובעת מתנועת החיה בין שתי המדידות. זווית ההפרש אל החיה בין שני אתרים הוגבלה למינימום של 30° בכדי להקטין את שיעור השגיאה. נתוני הטלמטריה (מיקום ואזימוט) מעובדים במחשב לקבלת מיקום של החיה.

ניתוח תפוצה מרחבי

תחום מחיה הינו השטח הנדרש לקיומו של בע"ח וכולל את שיחור המזון, רבייה וגידול צאצאים (Burt 1943). על פי הגדרה זו, תחום המחיה אינו כולל תנועות ארוכות טווח אל מחוץ ל"שטח הפעילות הרגיל". ניתוח תחומי המחיה ודפוסי התנועה במרחב של השועלים בוצע ע"י ריכוז כלל המיקומים לכל פרט. ביצוע ניתוח תחומי מחיה בוצע בעזרת תוכנת GIS (Arc View 3.2) והרחבה מיוחדת לאומדן תחומי מחייה של בעלי חיים. חישוב תחומי מחיה נעשה בשיטת Adaptiv Kernel Method (Worton 1989), כאשר נדרשת כמות מינימאלית של 30 מיקומים בלתי תלויים לפחות (Seaman et al. 1999). איפיון אזורי פעילות השועלים ונתיבי תנועתם, נעשה ע"י בחינת הנתונים המרחביים של כל אחת מנקודות המיקום (שיפוע, גובה טופוגרפי, קירבה ליישובים(עם/בלי לולים), כיסוי צומח).

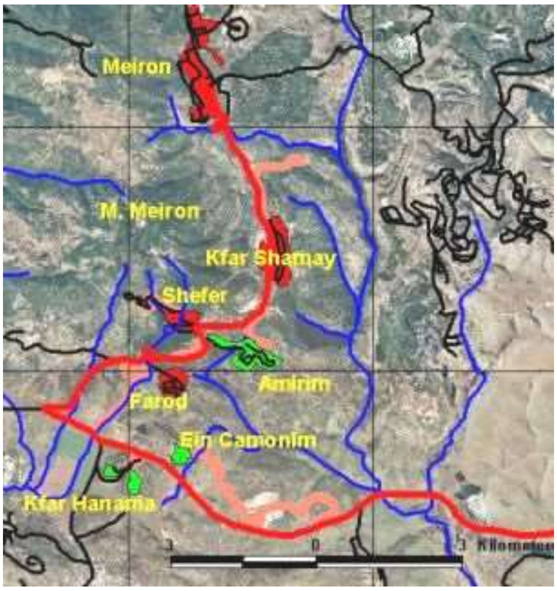
אינדקסים להערכת השפעות אנטרופוגניות על צפיפות שועלים

הערכה זו מבוססת על חתכי נסיעה ברכב שבוצעו בשלושה אופנים :

א. חתכים בעזרת זרקור – בוצעו ע״י נסיעה בדרכים החוצות שטחים טבעיים בסמיכות ובמרחק רב יותר מיישובים. בשיטה זו תועדו כל הפרטים שנצפו ומיקומם בעזרת GPS, ולאחר מכן בוצע ניתוח של התפלגות התצפיות כתלות במרחק מהיישובים.

ב. חתכי דריסות – בוצע ע״י סקירת פרטים שנדרסו בכבישים באזור המחקר בתדירות של 2-3 פעמים בשבוע. בוצע תיעוד של מיקום הדריסות בעזרת GPS, ולאחר מכן בוצע ניתוח של התפלגות התצפיות כתלות במרחק מיישובים.

ג. תצפיות ביישובים – בוצע ע״י תיעוד כל הפרטים שנצפו ביישובי המחקר. מידע זה שימש להשוואת עוצמת פעילות השועלים ביישובים ״אדומים״ (בהם שכיח גידול עופות) לבין יישובים ״ירוקים״ (בהם אין גידול עופות).



איור 2 – חתכים רכובים בשטח המחקר. צבע אדום – חתכי דריסות. צבע חום – חתכים מוארי זרקור. צבע שחור בתחומי יישוב – חתכי יישובים.

צפיפות יחסית כפונקציה של פעילות אנטרופוגנית וכושר נשיאה

הצפיפות בכל אחד מהאזורים חושבה בעזרת תכנת Noremark (White 1996). עיקרון הפעולה של תכנה זו מבוסס על שיטת capture-recaptur (Otis et al. 1978) ופרוצדורת mark-resight שפותחו בעשורים האחרונים. בבסיס תוכנה זו עומדת ההנחה שקיימת הסתברות מסויימת לתצפיות/לכידות חוזרות מתוך אוכלוסיה נתונה.

התאמת שיטה זו למחקר זה נעשתה ע״י ריכוז כלל התצפיות באזור נתון בכל חודש, תוך הגדרת כמות הפרטים הממושדרים במרחב הנבחר (כולל באזור החיץ שמסביב), כמות הפרטים הממושדרים שנצפו/נלכדו/נדרסו, וכמות התצפיות הכללית בשועלים (כולל דריסות). אוסף חודשי המעקב היווה בסיס לניתוח גודל האוכלוסיה בכל אזור. שטח המחקר בכל אזור הוגדר כשטח הקטן ביותר שכולל את כלל חתכי הדיגום (איור 3). חישוב הצפיפות נעשה מתוך חישוב גודל האוכלוסיה ביחס לגודל השטח הנדגם.

איור 3 – מרחב נבחר לחישוב צפיפות. המרחב מוגדר ע״י תיחום חתכי הדיגומים - חום. צהוב- חתכים רכובים. תכלת – חתכי יישובים. אדום – חתכי דריסות. סגול – אזור חיץ ברוחב 0.5 ק״מ מסביב למרחב הנבחר. נקודות ירוקות- מיקומים של הפרטים הממושדרים שהיו זמינים באותו אזור.

פיתוח המודל

בניית המודל מבוססת על עיבוד המידע שנאסף במחקר השדה. איסוף הנתונים בשדה נערך עד לתקופת סיכום המידע המוצג בזאת. שלב התחלתי בפיתוח המודל בוצע על בסיס תוצאות חתכי דריסות בשנה ראשונה. תוצאות אלו הראו אפשרות של ריבוי דריסות באזורי חצייה של וואדיות גדולים את הכבישים ובקרבת יישובים. מתוך כך בוצע ניסיון מקדים ליצירת המודל בעזרת תוכנת Matlab שכלל בניית תוכנית שתאפשר זיהוי ערוצי הנחלים מתוך שכבה של גבהים טופוגרפיים.

תוצאות סופיות של המודל יסוכמו בעבודת הדוקטורט של עמית דולב במהלך שנת 2005.

תוצאות

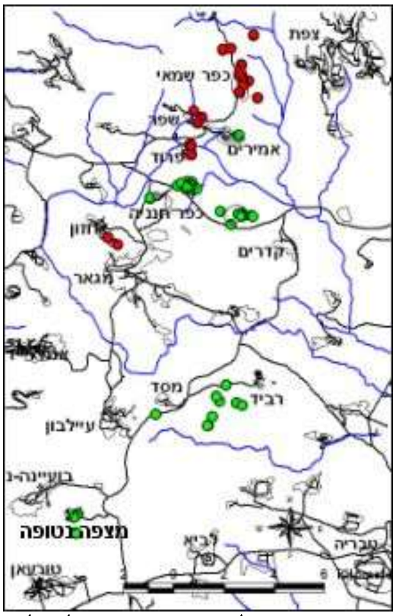
לכידות שועלים

במהלך המחקר כולו נלכדו ומושדרו 77 שועלים (נספח 1) במהלך שלוש עונות לכידה (2002-2004). יחס הלכידות (טבלה 1) בין אתרים ביישובים המגדלים עופות שתנאי הסניטציה בהם ירודים (אתרים אדומים) לבין אתרים הרחוקים מלולים (ירוקים) הינו כמעט 1:1. כמו כן גם היחס בין זכרים לנקבות הינו קרוב ל-1:1. התפלגות הגילאים (A-adult, S-subadult) קרובה גם כן ליחס 1:1 במרבית המקרים.

Site	Males	Females	
Red	18 (8A, 10S)	20 (12A, 8S)	38
Green	20 (10A, 10S)	19 (9A, 10S)	39
Total	38	39	77

טבלה 1 – התפלגות הלכידות לפי אתרים (אדום – אתרים בסמוך ליישובי לולים; ירוק- שטחים טבעיים או שלא בסמוך ליישובי לולים), זויג, וגיל השועלים בזמן הלכידה.

התפלגות מרחבית של הלכידות לפי אתרים (איור 4). האתרים: כפר שמאי, שפר, פרוד וחזון, הינם יישובים בהם מגדלים עופות (סניטציית פגרי עופות לא קיימת לרוב – אתרים אדומים) המצויים בגליל העליון או בסמוך לו. האתרים: אמירים, כפר חנניה ומחצבת קדרים, מהווים "אזורי רקע" (אין גידול עופות – השפעה אנטרופוגנית נמוכה) באותו מרחב גיאוגרפי. האתרים הדרומיים: רביד ומצפה נטופה, הינם " אזורי רקע" במרחב גיאוגרפי של הגליל התחתון. כלומר מרוחקים מהשפעתם של אתרים "אדומים".



איור 4 – התפלגות מרחבית של הלכידות. אדום – אתרים בהם מגדלים עופות. ירוק – אזורים שלא מגדלים בהם עופות.

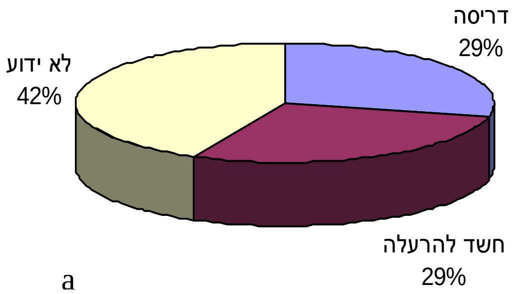
שרידה

מתוך 77 שועלים שמושדרו בתקופת המחקר, נמצא כי שיעור התמותה הכולל – 45.5% (טבלה 2) בתקופת פעולת המשדר של השועלים (18 חודשים). עליהם נוספו 7.8% של שועלים שנעלמו במהלך תקופה זו מיום הלכידה. בחינת ההבדלים בשיעורי התמותה מלמדת על 39% תמותה של שועלים שמקורם מאתרים "אדומים" ו-51% מאתרים "ירוקים". תוצאות אלו מצביעות שקבוצת הנקבות התת-בוגרות בעלת שיעורי תמותה גבוהים ביחס לשאר קבוצות המדגם (70%).

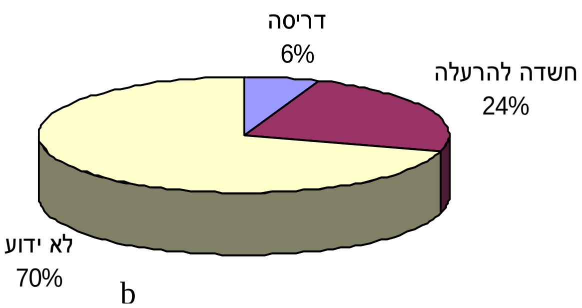
סוג אתר	זויג	גיל בלכידה	מצב שועל	סך	שיעור תמותה		
אדום (38)	זכר (18)	בוגר (8)	גמר משדר	4	0.5	0.39	0.39
			מוות	4			
		תת-בוגר (10)	גמר משדר	3	0.3		
			מוות	3			
			פעיל	4			
	נקבה (20)	בוגר (12)	גמר משדר	2	0.42	0.4	
			מוות	5			
			פעיל	5			
		תת-בוגר (8)	גמר משדר	2	0.38		
			מוות	3			
			נעלם	1			
			פעיל	2			
ירוק (39)	זכר (20)	בוגר (10)	גמר משדר	2	0.5	0.45	0.51
			מוות	5			
			נעלם	1			
			פעיל	2			
		תת-בוגר (10)	גמר משדר	1	0.4		
			מוות	4			
			נעלם	4			
			פעיל	1			
	נקבה (19)	בוגר (9)	גמר משדר	3	0.44	0.58	
			מוות	4			
			פעיל	2			
		תת-בוגר (10)	גמר משדר	1	0.7		
			מוות	7			
			פעיל	2			

טבלה 2 – התפלגות השועלים הממושדרים לפי אתר לכידה, זויג, גיל ומצב השועל במהלך תקופת פעילות המשדר (18 חודשים).

הגדרת גורמי תמותה אינה פשוטה במקרים רבים, מכיוון שלרוב השרידים שנותרו אינם מאפשרים אנליזה כלשהי. מכיוון שכך, הגדרת גורם תמותה ״חשד להרעלה״ מבוססת על מידע נלווה כדוגמת הימצאות חיות מורעלות/מתות בסמוך למקום השועל המת.



a



b

a- אתריו ... ״ירוקים״ עם השפעה אנטרופוגנית מתונה.

בחינת גורמי התמותה (איור 5) מלמדת שבאזורים בעלי השפעה אנטרופוגנית גבוהה (יישובי לולים), מיוחסים 58% ממקרי התמותה לגורמים תלויי אדם – דריסות וחשד להרעלה. לעומת זאת, באזורים בעלי השפעה אנטרופוגנית פחותה, רק 30% מיוחסים לגורמים תלויי אדם, כאשר גם שם מקרי ההרעלה משוייכים לאירוע אחד בזמן בסמוך לאחד היישובים.

אזור	שם מאורה	מס' גורים מנימלי שנצפה
ירוק	מתילדה	3
ירוק	עינב	4
ירוק	רותם	2
ירוק	רביד	2
ירוק	רביד דרך	3
אדום	שגי אם	4
אדום	אנה	4
אדום	שמלול	7
אדום	שגי	4
אדום	חדווה	4

טבלה 3 – הצלחת רבייה במאורות שועלים כתלות בסוג אזורי הדיגום.

הצלחת רביה

המעקב אחר מאורות שועלים הניב מידע חלקי, עקב הצלחה נמוכה באיסוף נתונים ממצלמות ווידאו. התוצאות המוצגות בטבלה 3 מרכזות את המידע המירבי שהתקבל מתוך תצפיות ישירות. מספר הגורים המצויין בטבלה מבטא את הנתון המאוחר ביותר שהתקבל. מכאן שערך זה מבטא את כמות הפרטים המתבגרים שיוצאים "מרשות ההורים". תוצאות אלה מלמדות שבמאורות המצויות בתחום יישובים "אדומים" (בעלי סניטציה נמוכה של עופות), 4.6 ± 1.3 גורים למאורה, ובאזורים "ירוקים" 2.8 ± 0.8 גורים למאורה ($p=0.03$, $df=8$, $t=2.54$).

שיעור התחסנות לכלבת

תוצאות דגימות הדם ($n=35$) כללו שועלים שהיו באותו אזור בתקופת פיזור החיסון האורלי (לא נכללו פרטים צעירים שנולדו לאחר מועד החיסון). מתוצאות אלה נמצא ששיעור הפרטים בהם נמצאו נוגדנים לכלבת באזורים אדומים הוא 57.1% לעומת שיעור התחסנות של 38.1% באזורים ירוקים. משמעות הדבר שפרטים אלה אכלו פתיונות שפוזרו מהאוויר המכיל תרכיב של הנגיף שגרם להם לפתח נוגדנים לכלבת. סביר להניח שהבדלים אלה בשיעור ההתחסנות בין האזורים קשורים להבדלים בצפיפות השועלים בין האזורים.

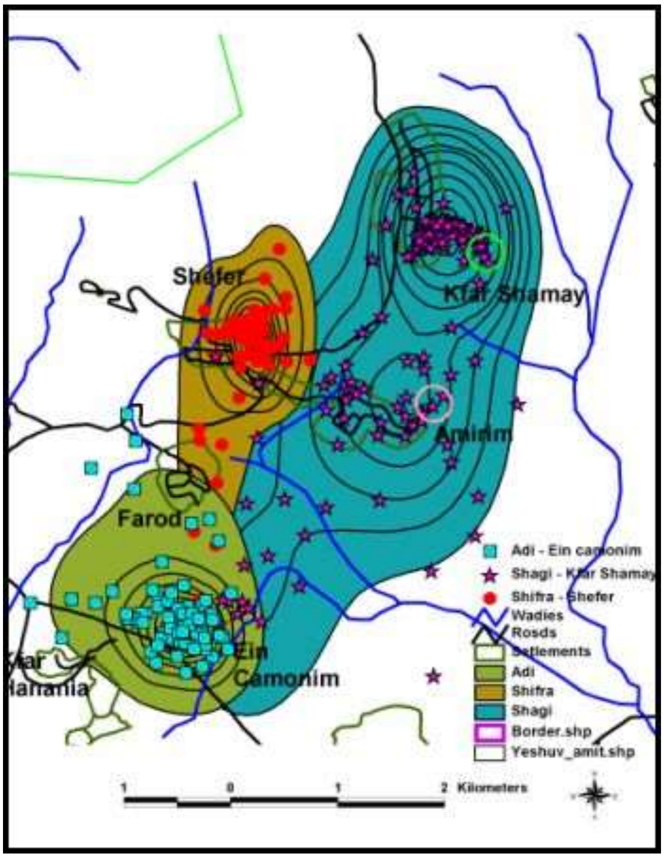
אזור	אדום		ירוק	
גיל שועל	בוגר	תת-בוגר	בוגר	תת-בוגר
מס' דגימות	11	3	10	11
שיעור התחסנות (%)	50.0	7.1	23.8	14.3
	57.1		38.1	

איור 4 – שיעור התחסנות לכלבת באזורים השונים

דפוסי תנועה ושימוש במרחב

המידע אודות התפשטותם המרחבית של השועלים מבוסס על מעקב רדיוטלמטרי אחר השועלים הממושדרים, תוך ניסיון לזהות מגמות בדפוס תפוצתם. מעקב רציף אחר השועלים החל לאחר שיחרור הפרטים בתדירות של 1-2 לילות בשבוע, שהניב 2461 מיקומי שועלים בין יולי 2002 לנובמבר 2004.

תחומי מחייה



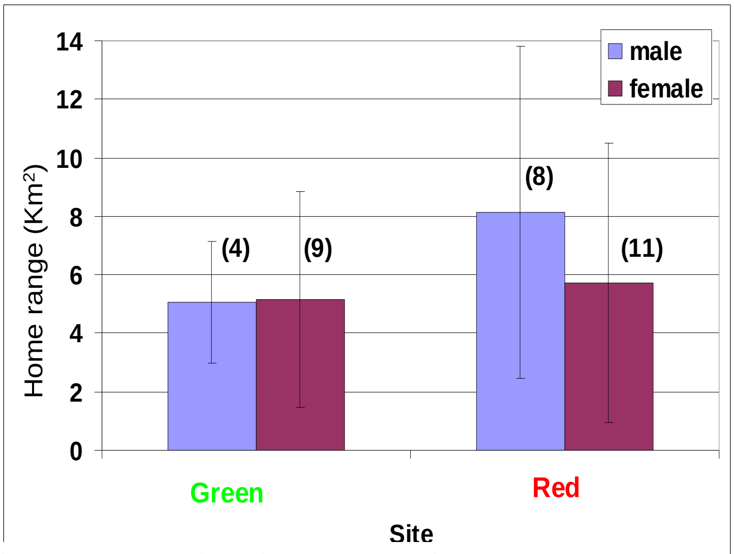
איור 6 – תחומי מחיה ומיקומים של 3 נקבות משלושה אתרי לכידה שונים. עיגול ירוק מבטא את אתר הלכידה של Shagi בכפר שמאי ועיגול ורוד את אתר המאורה שלה באמירים.

תחומי מחיה של הפרטים השונים מלמדים על השימוש במרחב שעשו השועלים במהלך תקופת המעקב. באיור 6 מוצגת דוגמה של תחומי המחיה לשלוש נקבות שאחריהן בוצע מעקב במהלך כשנה. הנקודות הבודדות מהוות את ריכוז כלל המיקומים לכל פרט. חישוב תחומי המחיה מבוסס על הצפיפות היחסית של המיקומים. הקווים הרציפים בתחומי המחיה מבטאים קווים שווי צפיפות (isopleth), כאשר הקו החיצוני מבטא הסתברות ש-90% מהמיקומים יכללו בתחומו, בעוד הקו הפנימי ביותר מבטא הסתברות ש-10% מהמיקומים המרכזיים יכללו בתוכו. קווי הביניים הינם של 20%- 80% בהתאמה.

באיור 6 ניתן לראות הבדל בדגמי תפוצה בין פרטים, כאשר הנקבה שהיתה גורה בעת הלכידה (באתר "אדום"), היתה צריכה לבסס תחום מחיה רחוק מאזור ההמלטה, לעומת נקבות שמקורן מאזור לכידה אחר. כמו כן ניתן לראות שכיווניות ההתפשטות של נקבה זו בין היישובים שבאזור ולא לכיוון השטחים הטבעיים הסמוכים.

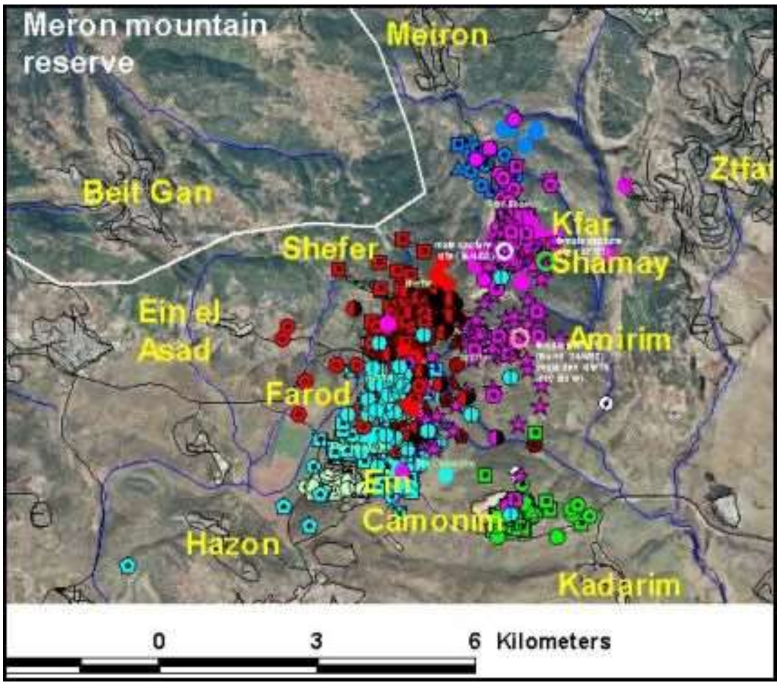
באופן זה בוצע חישוב תחומי מחיה עבור 27 שועלים שהצטברו עבורם יותר מ-30 מיקומים.

השוואת גודל תחום מחיה בין שני סוגי האזורים (ירוק ואדום – הבדל בכמות מזון זמין), ובין זכרים ונקבות (איור 7) , מלמדת שגודל תחום המחיה הממוצע באזורים "ירוקים" עומד על $5.1\pm3.2km^2$, לעומת $6.2\pm5.2km^2$ באתרים "אדומים" – הבדל שאיננו מובהק. העדר הבדל בגודל תחום המחיה למרות ההבדל הניכר במצאי מזון מהווה עדות לכך שזה כנראה גודל תחום המחיה הבסיסי הנדרש לשועל, ושההבדלים במשאבי המזון צפויים להשפיע על הצפיפות ולא על גודל תחום המחיה. חיזוק לכך ניתן למצוא בעבודתם של Gosselink et al. (2003) שהראו שבעונה בה אין שלג (כמו אצלינו במשך כל השנה), אין הבדל בגודל תחום המחיה בין שועלים הסמוכים לעיר לבין אלה המצויים בשטחים הטבעיים.



איור 7 - השוואת גודל תחום מחיה של שועלים בין אזורים בעלי סניטציה נמוכה (אדום) לאזורים האחרים (ירוק).

בנוסף, ניתן לראות שקיימת נאמנות רבה של השועלים לאזור פעילותם (איור 8). פרטים שנלכדו באתר מסוים (אחד הצבעים) נוטים להשאר באותו אזור מבלי לבקר כמעט באזורים סמוכים. כלומר, הפרטים שתחום מחייתם קבוע, מראים נאמנות לאזור פעילותם, עם נטייה נמוכה לתנועה לאזורים סמוכים.



איור 8 - נאמנות לתחום מחיה - הצבעים השונים מבטאים את אתר הלכידה של כל שועל (כחול - נחל עמוד; ורוד - כפר שמאי; אדום - שפר; בורדו - פרוד; לבן - אמירים; תכלת - עין כמונים; ירוק בהיר - כפר חנניה; ירוק-מחצבת קדרים), והסימנים מבטאים זיהוי אינדיבידואלי לכל פרט.

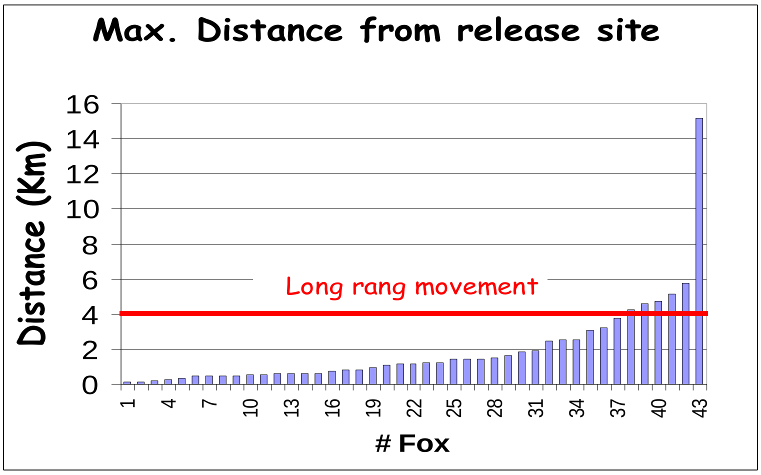
תנועות ארוכות טווח במרחב

תנועות ארוכות טווח אינן חלק מדפוס תנועתם הרגיל של השועלים, אי לכך לא בוצע חישוב תחום מחיה לפרטים אלה. התוצאות עד כה מלמדות כי תחומי השוטטות של השועלים הינם לרוב בטווחים של מאות מטרים ספורים מאזורי הלכידה (איור 7). עם זאת בתקופות מסוימות במחזור החיים השנתי מתבצעות תנועות ארוכות טווח. סביר להניח שתנועות ארוכות טווח אלה של השועלים מהוות את הווקטור העיקרי להעברת מחלת הכלבת מאזור אחד למשנהו.

ניתן לחלק תנועות ארוכות טווח אלו ל-2 :

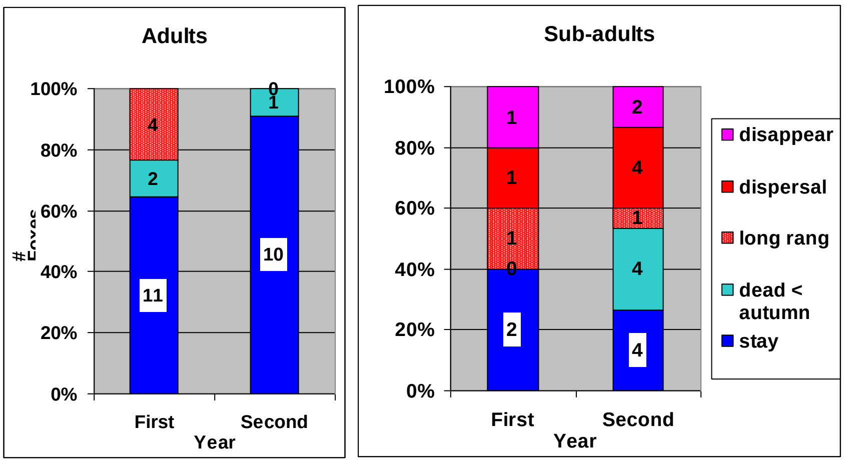
1) Dispersal – הגירה לאזור חדש והתבססות שם ללא חזרה לאתר המוצא.

2) Long range forays – "מסעות" לטווח מרוחק מאזור הפעילות, וחזרה אליו לאחר מכן.

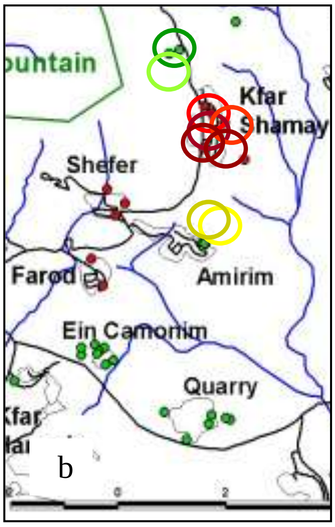


איור 9 – התפלגות טווחי התנועה המקסימליים של כל אחד מהשועלים.

טווחי התנועה המקסימליים של השועלים בתקופה זו (איור 9) מלמדים שמרבית הפרטים אינם נעים לטווחים ארוכים. בהתאם לתוצאות אלה, הגדרנו שתנועה ארוכת טווח היא כזו העולה על 4 ק"מ מאתר המוצא. בחינת טווחי ההתרחקות המקסימליים של שועלים מלמדת על תנועות ארוכות טווח (מעל 4000 מטר) של 6 שועלים. תוצאות אלו אינן כוללות את חורף 2005 שייבחנו באביב הקרוב. תקופת ההתרחקות לטווח המקסימלי היתה בעיקר בראשית החורף, שבה נוטים הפרטים הצעירים להתרחק מנחלת הוריהם ולחפש אזור התבססות. תנועות אלו היו מהסוג dispersal שבו הפרטים מתרחקים לטווח רחוק ללא חזרה לאזור המוצא. טווחי ההתרחקות של dispersal (5 פרטים עד כה) היו בין 5-15 ק"מ כאשר במרבית המקרים היה הטווח בין 5-10 ק"מ. במקביל נצפו תנועות שכאלה בחורף ובאביב העשויות ללמד על התרחקות לצורך רבייה (עונת הייחום – חורף). אחד הפרטים אף ביצע dispersal לטווח של מעל 15 ק"מ (טווח אווירי), וביסס תחום פעילותו בגבול לבנון ומעבר לו. השוואת השימוש בתנועות ארוכות טווח בין פרטים תת-בוגרים לבוגרים (איור 10), הראתה שהפרטים הבוגרים כמעט ולא עוזבים את תחום מחייתם. לעומתם, קרוב ל-50% מהפרטים המתבגרים ביצעו תנועות ארוכות הטווח הכוללות dispersal ו-long range forays. בחישוב זה הוכללו גם הפרטים שנעלמו, מתוך



a



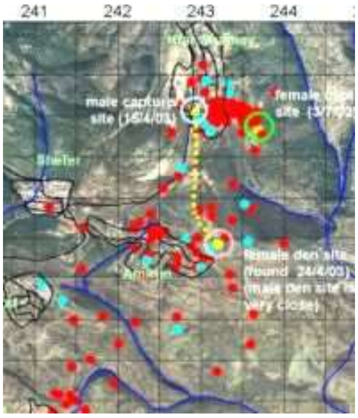
b

איור 10 - השוואת דפוסי התרחקות השועלים בשתי שנות המחקר הראשונות. כחול – פרטים שטווח תנועתם המירבי קטן מ-4 ק"מ. תכלת –שועלים שמתו עד עונת הסיו בשטח תחום המחיה הרגיל. אדום מנוקד – פרטים שביצעו תנועה ארוכת טווח וחזרו לאזור המוצא. אדום – פרטים שביצועו הגירה ללא חזרה. וורוד – פרטים שנעלמו (נותק קשר רדיו טלמטרי).

הערכה שהעלמות בתקופה זו נובעת מתהליך התרחקות (ואי מציאה שלהם). חשוב לציין שסוג זה של תנועות ארוכות טווח נעשה לרוב ע"י פרטים זכרים, בחפשם נחלה פנויה. אזורי ההתבססות לאחר dispersal היו בשטחים פתוחים המרוחקים מיישובים – שכנראה בעלי צפיפות שועלים נמוכה.

<u>*תנועה מ"נחלות לווין"*</u>

"נחלות לווין" הוגדרו כאזורי התבססות/מאורות של משפחות שועלים הנמצאות בפריפריה של יישובים אדומים. פרטים המאכלסים נחלות אלה, המרוחקות עד כ-2 ק"מ ממקור המזון (אתר אדום), נעים בכל לילה מ"נחלות הלווין" אל יישובים אלה בכדי להביא מזון – פגרי עופות מאזורי הלולים באתר אדום (איור 11 a). איור 11b משקף שתופעה זו של "נחלות לווין" איננה ספורדית, אלא חלק מדפוס ההתיישבות והתנועה של שועלים סביב אתרים "אדומים" המהווים מקור מזון קבוע עבורם. דפוס תנועה והתיישבות זה, בעל השפעה על ריכוזי שועלים סביב אתרים "אדומים", ובעל משמעות כווקטור הפצת הכלבת סביב מוקדי משיכה (כדוגמת אתרים "אדומים").



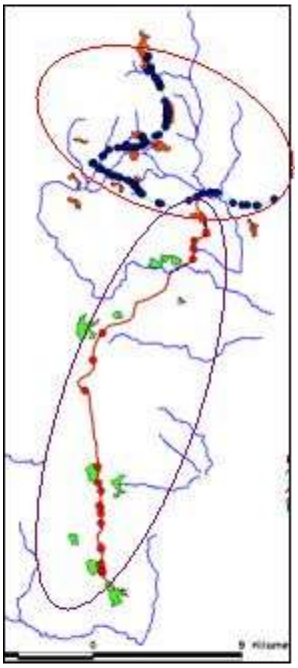
איור 11 - "נחלות לווין". a- תנועה יומית של זוג שועלים ממקום המאורה (עיגול ורוד) אל עבר אתר שיחור המזון (עיגול לבן). b- עיגולים אדומים מציינים תחומי מחיה של פרטים בתחום היישוב. עיגולים ירוקים וצהובים מציינים "נחלות לווין" סביב אותו יישוב.

<u>**הערכת השפעה אנטרופוגנית על צפיפות השועלים**</u>

הערכת צפיפות אוכלוסיה באזורים השונים מבוססת על מספר אינדקסים ששימשו ליצירת בסיס המידע:

<u>*א. חתכי דריסות*</u>

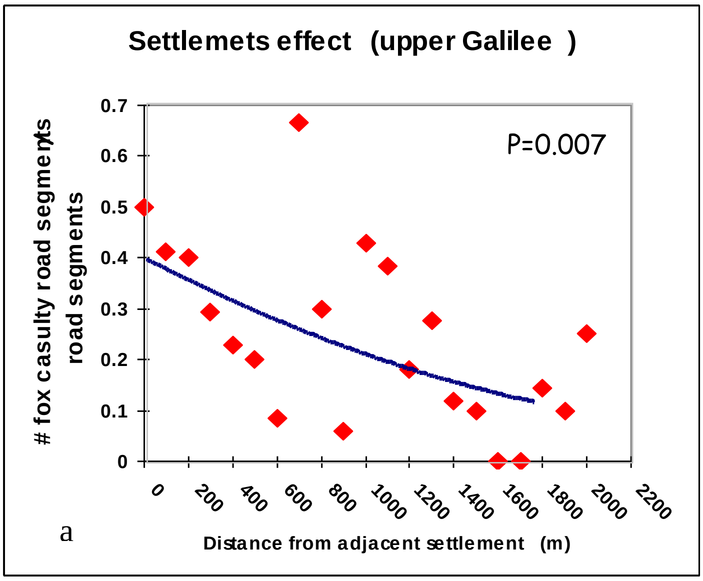
במהלך המחקר בוצע דיגום צירי התנועה העיקריים באזור המחקר, תוך ניסיון ללמוד על הגורמים העיקריים המשפיעים על ההתפלגות המרחבית של הדריסות במרחב, בהנחה שלהם קורלציה עם צפיפות השועלים. בכדי לבחון את השפעת "אתרים אדומים" (יישובים בהם מגדלים עופות), בוצעו חתכי הדריסות בשני מרחבים גיאוגרפיים - בגליל העליון בו קיים ריכוז גבוה של "יישובי לולים" אל מול הגליל תחתון בו אין כמעט יישובים המגדלים עופות (איור 12).

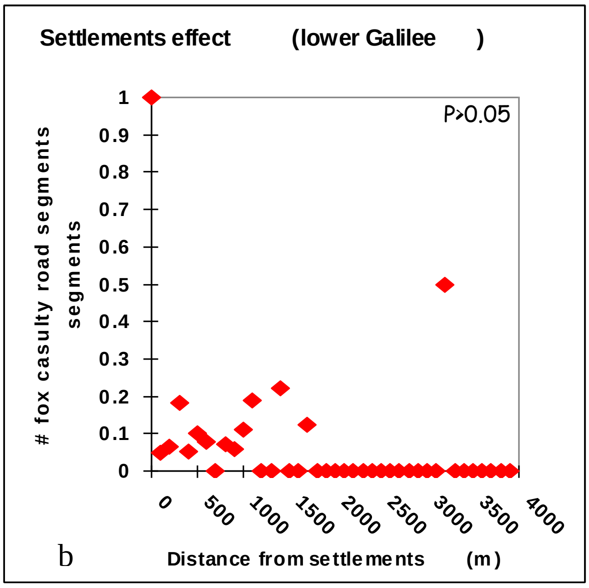


צירי התנועה חולקו למקטעים של 100 מ׳, ועבור כל אחד ממקרי הדריסה שתועדו, נבדק המרחק אל היישוב הקרוב ביותר. בוצעה סכימה של כמות הדריסות שנצפו כתלות במרחק אותו קטע כביש מהיישוב הסמוך. אינדקס זה שימש להשוואה מול המרחק מתחומי יישובים.

איור 13 – שיעור הדריסות של שועלים כתלות במרחק מיישובים. a- גליל עליון (צ. מירון – צ. קדרים), b- גליל תחתון (צ. קדרים –

איור 12 – אזורי דיגום חתכי דריסות. עיגול אדום – גליל עליון. עיגול סגול – גליל תחתון





כפר תבור). כחול – רגרסיה לוגריתמית של שיעור הדריסות.

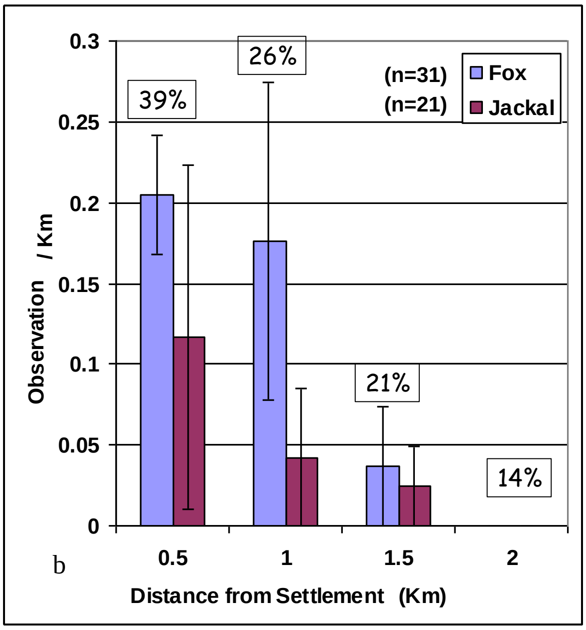
תוצאות אלה נבחנו ברגרסיה לוגיסטית, לצורך בחינת הקשר בין שיעור הדריסות למרחק מיישוב. מתוצאות אלה ניתן לראות שבגליל העליון (איור a13), בקטע כביש שאורכו 26 ק״מ, קיימת השפעה מובהקת של הקרבה ליישובים (p=0.007) על סיכויי ההידרסות. כאשר בטווח של 1.5 ק״מ יש ירידה של כ-60% בסיכויי ההידרסות. מכיוון שנפח התנועה דומה בכל הציר, מהווה מידע זה עדות ברורה להשפעה של יישובים על צפיפות השועלים. מרבית היישובים הסמוכים לציר זה הינם יישובים המתמחים בגידול עופות (שתנאי הסניטציה אצלם של פגרי עופות - נמוכים).

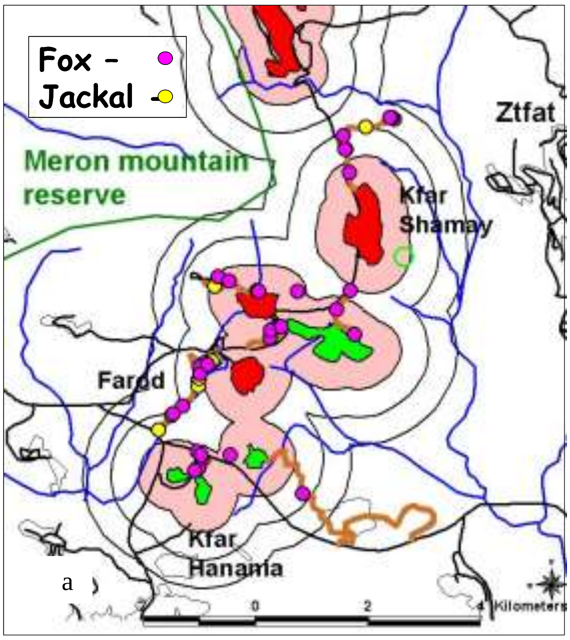
לעומת זאת, בגליל התחתון (איור b13), בקטע כביש שאורכו 29 ק״מ, לא נראתה השפעה של ריכוזי דריסות בסמוך ליישובים. בקטע כביש זה אין יישובים המתמחים בגידול עופות.

ב. *חתכים רכובים מוארי זרקור*

התוצאות המובאות באיור a14 מהוות ריכוז מידע מ-7 מקטעים של חתכים רכובים בגליל העליון, באורך כולל של כ-15 ק״מ, בהם נעשו חתכים רכובים תוך שימוש בזרקור. חתכים אלה נעשו על דרכים כבושות בין יישובים מתוך מטרה לבחון את התפלגות פיזור השועלים כתלות במרחק מיישובים. התפלגות התצפיות בשועלים (איור b14) מלמדת על ריכוז גבוה של תצפיות בשועלים באזורים שבקרבת יישובים. שיעור הירידה בתצפיות בין קטגוריית טווח של 500 מ׳ לקטגוריית טווח של 1500 מ׳, הינו של כ-75% לערך. לצורך השוואה מצויינות גם התצפיות בתנים, שמראים דגם דומה, אם כי צפיפותם באזור כנראה נמוכה יותר. גם באינדקס זה, אזור הדיגום בסמוך ליישובים

המתמחים בגידול עופות, והתוצאות מלמדות על השפעת מציאות מזון על שיעור התצפיות, שמהווה אינדקס נוסף לצפיפות הגבוהה של שועלים באזורים אלה.

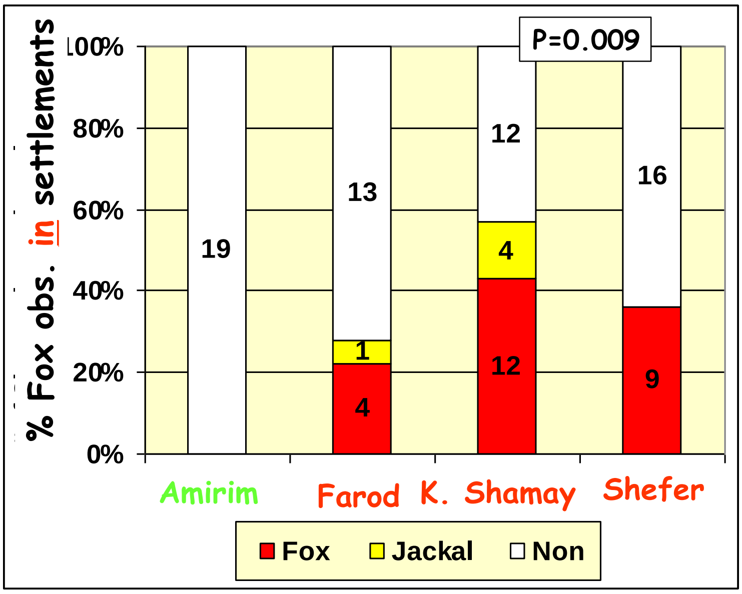




איור 14 - תצפיות בשועלים בחתכים רכובים מוארי זרקור. a- תוצאות תצפיות בשועלים ותנים בחתכים הרכובים. מעגלי הטווח מסביב ליישובים ברוחב של 0.5 ק"מ כל אחד. שיעור התצפיות לק"מ של שועלים ותנים, כתלות בקטגוריות המרחק מיישוב.

ג. תצפיות ביישובים

דיגום התצפיות של שועלים בתוך יישובים ("אדומים" ו"ירוקים") כלל סיורים בשעות הלילה בנתיב קבוע בתוכם (איור 15). הערכים המספריים בתוך העמודות הינם מספר סיורי התצפית שבוצעו. העמודות הלבנות מבטאות את המקרים בהם לא נצפתה אף חיה.



איור 15 – שיעור תצפיות בשועלים בתוכי יישובים. היישובים: שפר, כ. שמאי ופרוד הינם יישובים בהם מגדלים עופות (יישובים "אדומים"). אמירים הינו יישוב בו אין גידול חקלאי של בע"ח (ישוב "ירוק").

תוצאות דיגום זה מלמדות על שיעור תצפיות בשועלים של 22%-43% מהדיגומים ביישובים "אדומים" (שפר, כ.שמאי ופרוד), לעומת העדר תצפיות בשועלים ביישוב "ירוק" (אמירים). מידע זה משקף באופן חד את המשמעות של מצאי מזון זמין (פגרי עופות באזור זה), על נוכחות של טורפים, וההבדלים בצפיפותם בתחומי יישוב. חשוב לציין שהבדלים מובהקים אלה הינם גם כאשר היישובים נמצאים בסמיכות גבוהה (מרחק של כ-1 ק"מ).

.

<u>הערכת צפיפות שועלים</u>

בחינת ההבדלים בצפיפות השועלים נעשתה בעזרת תוכנת Noremark (איור 16) המבוססת על פרופורציית התצפיות החוזרות בפרטים מסומנים מתוך כלל התצפיות והלכידות, במגוון שיטות איסוף המידע, בכל אחד מהמרחבים שהוגדרו (איור 3).

בסיס המידע לחישוב גודל האוכלוסיה כלל:

1. לכידות ולכידות חוזרות.

תצפיות ותצפיות חוזרות בחתכי הדיגום:

2. חתכים רכובים מוארי זרקור.
3. חתכי דריסות.
4. חתכי יישובים.
5. כמות הפרטים הממושדרים הזמינים במרחב הנבחר בכל יחידת זמן נבדקת.

יחידת הזמן הוגדרה כחודש ימים. עבור כל יחידת זמן רוכזו כל התצפיות מבסיסי המידע שממוקמות במרחב שהוגדר.

Mark-Resight Population Estimation for Closed Populations

Alpha level for confidence interval construction: 0.05

Enter number of sighting occasions: 8

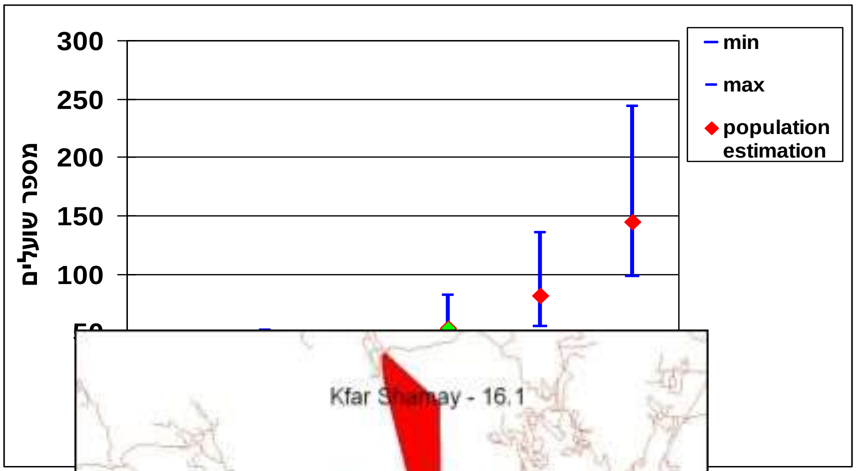
Unmarked Seen	Marked Seen	Marked Available	Occ.	Month
-------	------	----------	----	-------
0	0	2	1	4/2004
2	0	2	2	5/2004
2	0	3	3	6/2004
0	2	3	4	7/2004
5	1	5	5	8/2004
3	1	5	6	9/2004
1	1	5	7	10/2004
0	0	3	8	11/2004

Minimum number known alive is <u>13</u>

Population Estimate: <u>18</u> 95% Confidence Interval: <u>13 - 39</u>

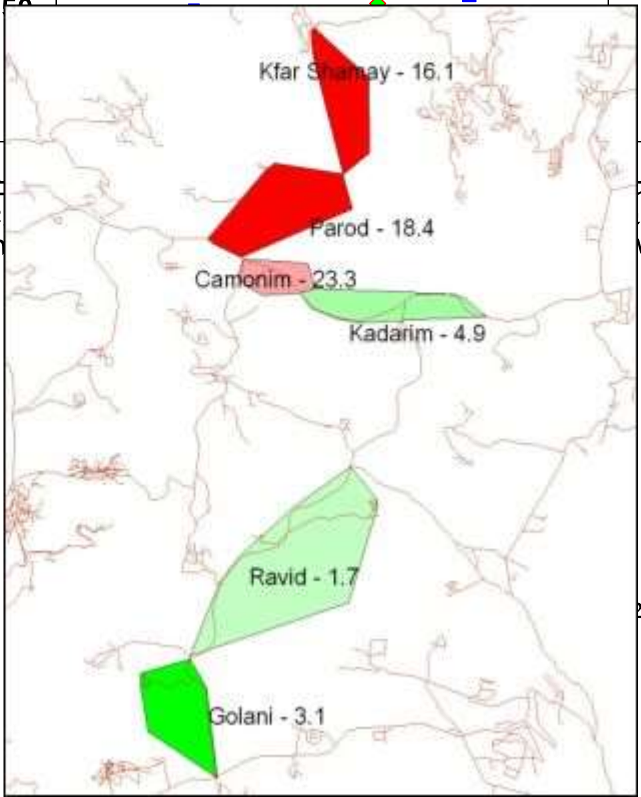
איור 16 – חישוב גודל אוכלוסיה במרחב "גולני", המבוסס על 8 יחידות זמן של חודש.

תוצאות חישוב גודל האוכלוסיה במרחבים השונים (איור 17) מלמדות על גודל אוכלוסייה של 20-30 שועלים במרחבים שאין בהם גידול עופות, לעומת מרחבים שבהם יישובים המתמחים בגידול עופות, שגודל האוכלוסיה בהם 80-150 שועלים.



איור 17 - גודל ... הכוללים יישו... בסמיכות לייש... interval 95%

בים ... צוי ... רכי



חישוב צפיפות משוערת של האוכלוסיה בכל מרחב, מתקבלת מחלוקת גודל אוכלוסיה מוערך בגודל מרחב הדיגום.

תוצאות אלה (איור 18) מלמדות שצפיפות האוכלוסיה במרחבים בהם יישובים המתמחים

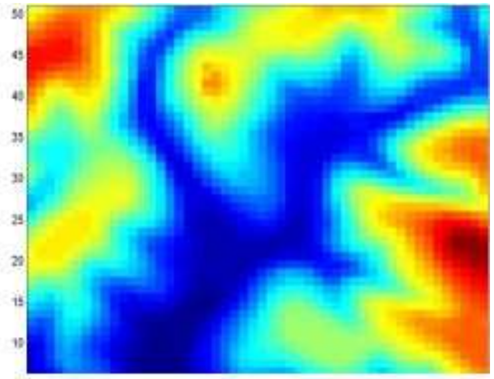
בגידול עופות, עומדת על כ- 16-23 שועלים לקמ"ר. לעומתם, באזורים שבהם ההשפעה האנטרופוגנית נמוכה, עומדת צפיפות השועלים על כ- 2-5 שועלים לקמ"ר.

תוצאות אלה מצטרפות לנתונים שהתקבלו מהאינקסים הקודמים, המעידים על צפיפות שועלים הגדולה פי 4 לערך באזורים בעלי השפעה אנטרופוגנית גבוהה. מידע זה בעל חשיבות רבה בבניית מודל התפשטות הכלבת.

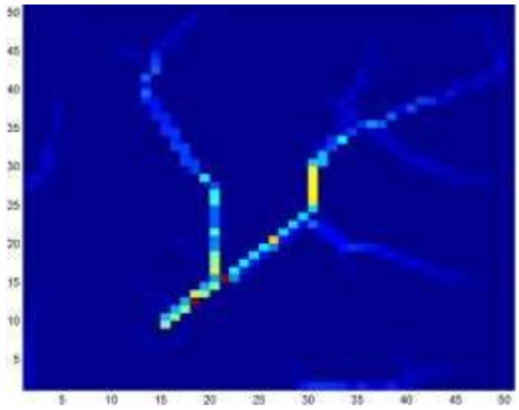
איור 18 – צפיפות שועלים (מספר פרטים לקמ"ר) בכל אחד מן המרחבים. המרחבים באדום כוללים יישובים המתמחים בגידול עופות, או סמוכים להם (כמונים-גוון וורוד). המרחבים בגוון ירוק, מצויים באזורים עם השפעה אנטרופוגנית נמוכה.

מודל מרחבי

בניית המודל המרחבי להתפשטות מחלת הכלבת תעשה במהלך השנה הקרובה, בהתבסס על תוצאות עבודת השדה המתוארת לעיל. אחד מדפוסי התנועה שזוהה בשלבים הראשונים של המחקר, לפי דריסות וחתכים רכובים, הראה נטייה לתנועה באזור של ערוצי נחלים. לצורך כך פותחה תוכנית



איור 19א – תרשים טופוגרפי של חלק מאזור המחקר צבע אדום-אזורים גבוהים, כחול-נמוכים



איור 19ב – תרשים ערוצי הנחלים לאחר הפעלת תכנית rolling ball. ערוצי הנחלים-בהירים.

ראשונית שנועדה לזהות ערוצי נחלים מתוך טבלת נתוני גובה טופוגרפי של המרחב. תכנית זו מבוססת על רעיון rolling ball, שבו כדור המתגלגל ממקום כלשהו במרחב יגיע לנקודה הנמוכה ביותר. הרצת מספר רב של כדורים במרחב תגרום לכך שהתאים הנמוכים ביותר – ערוצי הנחלים, יהיו אלה שבהם יעברו מספר הכדורים הרב ביותר. רצף תאים אלה מהווים ביטוי מתמטי לערוצי הנחלים במרחב. תכנית זו מהווה שלב ראשון ביצירת שכבת הרקע למודל. שילוב המידע המרחבי מעבודת השדה בשכבת הרקע, יהוו את התשתית למודל חיזוי של התפשטות מחלת הכלבת.

בנספח 2 מופיע תוכנית המחשב, בעזרתה הוכן איור 19ב המהווה מטריצה שבה ציוני התאים מבטאים את ערוצי הנחלים.

דיון ומשמעויות

מתוך תוצאות עבודת השדה שסוכמו בזאת מתבררים הנושאים הבאים בהקשר לאוכלוסיות השועלים (המהוותווקטור להפצת מחלת הכלבת):

1. השפעת יישובים שבהם תנאי סניטציה ברמה נמוכה –

a. נמצא שבאזורים אלה צפיפות השועלים (כ-20 פרטים לקמ"ר) גדולה פי 4 ויותר מצפיפות השועלים באזורים בהם השפעה אנטרופוגנית פחותה (פחות מ-5 שועלים לקמ"ר).

b. גיוס הפרטים (שיעור הגעה לבגרות) גבוה יותר באזורים אלה.

c. שיעור התמותה באזורים אלה נמוך יותר כאשר לא נצפה הבדל בין שיעורי תמותה של פרטים מתבגרים לבוגרים.

d. נצפו "נחלות לוויך" ליישובים אלה, מצב ההופך כל יישוב שכזה ל"יישוב רבתי" המהווה מקור "יצוא" של שועלים ל"אזורי הרקע".

e. שכיחות התצפיות בשועלים פוחתת בשיעור של כ-60-70% עם התרחקות לטווח של כ-1.5 ק"מ מיישובים אלה.

2. שימוש במרחב –

a. נמצא שלא קיים הבדל בגודל תחום המחייה הממוצע בין האזורים השונים והוא עומד על 5-6 קמ"ר לערך.

b. נמצא שקיימת נאמנות של השועלים לתחום מחייתם עם מיעוט תצפיות החורגות לאזורים שכנים.

c. תנועות ארוכות טווח נמצאו אצל כ-50% מהפרטים המתבגרים, כאשר רובן מבוצעות ע"י זכרים. משמעות הדבר היא שכמעט כל התנועות ארוכות הטווח מבוצעות ע"י שועלים מתבגרים זכרים.

d. תנועות ארוכות טווח – הוגדרו על ידינו שני סוגים (dispersal ו- long range forays), שהינם בעלי חשיבות בדינמיקת התפשטות המחלה.

e. עונתיות - תנועות ארוכות טווח מתרחשות לרוב בראשית החורף.

f. אזורי התבססות הפרטים המתרחקים מאופיינים לרוב בריחוק יחסי ממקומות יישוב, דבר המעיד על צפיפות נמוכה יחסית של שועלים.

3. שיעור התחסנות – תוצאות ביניים אינן מראות הבדל בשיעור ההתחסנות בין האזורים השונים.

4. קיימת הערכה שתוואים טופוגרפים כקווי מצוקים ורכסי הרים, מהווים מחסום חדיר למחצה לתנועתם של שועלים, לצד עמקים ובקעות המשמשים כאזורי תנועה מועדפים. מידע זה ייבחן בזמן פיתוח המודל.

בכל הנושאים המרכזיים לפיתוח המודל הצלחנו לבצע פרמטריזציה. בסיס ידע זה משמש לפיתוח מודל התפשטות מרחבית של מחלת הכלבת שיסוכם בעבודת הדוקטורט של עמית דולב במהלך שנת 2005.

רשימת ספרות

א. לבנטל וא. אניס (1998), כלבת בישראל – התחדשות האיום. בריאות הציבור 6.

Adkins, C. A., and P. Scott. (1998) Home range movements and habitat association of red foxes *Vulpes vulpes* in suburban Toronto, Ontario, Canada. J. Zool. (Lond.) 244:335-346.

Barlow, N.D. (1996) The ecology of wildlife disease control: simple models revisited. Journal of Applied Ecology 33:303-314.

Bennett, A. F. (1999) Linkages in the landscape. IUCN, Gland, Switzerland. 256 pp.

Bohrer, G., S. Shem-Tov, E. Summer, K. Or, and D. Saltz. 2002. The effectiveness of various rabies spatial vaccination patterns in a simulated canid population with clumped distribution: and individual-based stochastic model. Ecological Modelling 152:205-211.

Brochier, B., Kieny, M.P., Costy, F., Coppens, P., Baudin, B., Lecocq, J.P., Languet, B., Chappuis, G. and Desmettre, P. (1991) Large scale eradication of rabies using recombinant vaccina-rabies vaccine. Nature 354:520-522.

Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham and J. L. Laake. (1993) Distance Sampling: Estimating abundance of biological populations. Chapman & Hall, NY, 446pp.

Burt, W.H. (1943) Territoriality and home range concepts as applied to mammasls. Journal of Mammals 24:346-352.

Cavallini, P. (1996) Variation in the social system of red fox. Ethol. Ecol. Evol. 8:323-342.

Cavallinin, P, and S. Lovari. (1994) Home range, habitat selection and activity of the red fox. Acta Theriologica 39:279-287.

Coman, B. J., J. Robinson, and C. Beaumont. (1991) Home range, dispersal, and density of red foxes (Vulpes vulpes L.) in central Victoria (Australia). Wildl. Res. 18:215-224.

Dobson, A. 2000. Raccoon rabies in space and time. Proc. Natl. Acad. Sci. 97:14041-14043.

Farry, S.C., Henke, S.E., Beasom, S.L. & Fearneyhough, M.G. (1998) Efficacy of bait distributional strategies to deliver canine rabies vaccines to coyotes in southern Texas. Journal of Wildlife Diseases 34:23-32.

Fowler, C. W. (1988) Population dynamics as related to rate of increase per generation. Evolutionary Ecology 2:197-204.

Fu, Z.F. (1997) Rabies and rabies research: past, present and future. Vaccine 15(Supplement):S20-S24.

Gosselink, T.E., Van Deelen, T.R., Warner, R.E. and Joselyn, M.G. (2003) Temporal habitat partitioning and spatial use of coyotes and red foxes in East-central Illinois. Journal of Wildlife manegment 67:90-103.

Greenhall, A. M., Artois, M. and Fekadu, M. (1993) Bats and Rabies, pp. 71-72, Fondation Marcel Merieux.

Grenfell, B. & Harwood, J. (1997) (Meta)population dynamics of infectious diseases. Trends in Ecology and Evolution 12:395-399.

Hanski, I. (1998) Metapopulation dynamics, Nature 396:41-49.

Hanski, I. A. and M. E. Gilpin. 1997. Metapopulation dynamics. Academic Press, NY. 512 pp.

Levins, R. (1969) Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. Bulletin of the Entomological Society of America 15:237-240.

May, R.M. & Anderson, R.M. (1979) Population biology of infectious diseases: part II. Nature 280:455-461.

Otis, D. L., K. P. Burnham, G. C. White, and D. R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. Wildl. Monogr. 62:1-135.

Riley, S. P.D., Hadidian, J. and Manski, D.A. (1998) Population density, survival, and rabies in raccoons in an urban national park. Canadian Journal of Zoology 76:1153-1164.

Seaman, D.E., Millspaugh, J.J., Kernohan, B.J., Brundige, G.C., Readeke, K.J. and Gitzen, R.A. (1999) Effectes of sample size on kernel home range estimates. Journal of Wildlife Management 63:739-747.

Smith, D. L., Lucey, B., Waller, L. A., Childs, J. E., Real, A. (2002) Predicting the spatial dynamics of rabies epidemics on heterogeneous landscapes. Proc. Natl. Acad. Sci. 99:3668-3672.

Tischendorf, L., Thulke, H.H., Staubach, C., Mueller, M.S., Jeltsch, F. Goretzki, J., Selhorst, T. Mueller, T., Schlueter, H., and Wissel, C. (1998) Chance and risk of

controlling rabies in large-scale and long-term immunized fox populations. Proc. Roy. Soc. Lond. Series B. Biol. Sci. 265:839-846.

Wandeler,A.I., Nadin-Davis S.A., Tinline, R.R., and Rupprecht, C.E. (1994) Rabies epidemiology: some ecological and evolutionary perspectives. In Rupprecht, C.E., Dietzschold, B., and Koprowski, H. (eds.) Lyssaviruses, Springer-Verlag, pp 297-324.

White,G. C. (1996). Program NOREMARK Software Reference Manual. Department of Fishery and Wildlife, Colorado State University, Fort Collins, CO

White, P. C. L., S. Harris, and G. C. Smith. (1995) Fox contact behavior and rabies spread: a model for the estimation of contact probabilities between urban foxes at different population densities and its implications for rabies control in Britain. J. Appl. Ecol. 32:693-706.

Yakobson, B. (2000) Rabies in Israel. http://www.agri.huji.ac.il/~yakobson/

Yakobson, B., Manalo, D.L., Bader, K., Perl, S., Haber, A., Shahimov, B., Shachat, N. & Orgad, U. (1998) An epidemiological retrospective study of rabies diagnostics and control in Israel, 1948-1997. Israel J. Vet. Med. 53:1-16.

Woollard, T. and S. Harris. A behavioral comparison of dispersing and non-dispersing foxes *Vulpes vulpes* and an evaluation of some dispersal hypotheses. J. Anim. Ecol. 59:709-722.

Worton B.J. (1989), Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. Ecology, **70**: 164-168.

נספח 1 – ריכוז מידע על השועלים שמושדרו בתקופת המחקר

	אתר לכידה	סוג אתר	שם פרט	זויג	גיל בלכידה	סך מיקומים	ת. מעקב	סוף מעקב	חודשי פעילות	status	סיבת מוות
1	כפר שמאי	אדום	שמאי	זכר	תת-בוגר	56	03/07/2002	29/05/2003	11.0	גמר משדר	
2	כפר שמאי	אדום	שגי	נקבה	תת-בוגר	134	03/07/2002	21/02/2004	19.9	גמר משדר	
3	כפר שמאי	אדום	שימי	זכר	בוגר	73	02/08/2002	09/06/2003	10.4	מוות	לא ידוע
4	כפר שמאי	אדום	שפי	נקבה	בוגר	73	12/08/2002	28/06/2003	10.7	מוות	דריסה
5	פרוד	אדום	פפריקה	נקבה	בוגר	97	13/08/2002	14/05/2004	21.3	מוות	הרעלה
6	שפר	אדום	שפרה	נקבה	תת-בוגר	78	13/08/2002	21/02/2004	18.6	גמר משדר	
7	שפר	אדום	שושן	זכר	בוגר	91	18/08/2002	28/02/2004	18.6	גמר משדר	
8	שפר	אדום	שוקי	זכר	תת-בוגר	63	19/08/2002	01/06/2003	9.5	מוות	דריסה
9	עין כמונים	ירוק	עזרא	זכר	בוגר	95	20/08/2002	07/12/2003	15.8	מוות	דריסה
10	עין כמונים	ירוק	עדי	נקבה	בוגר	93	03/09/2002	16/01/2004	16.7	גמר משדר	
11	שפר	אדום	שאול	זכר	בוגר	75	06/09/2002	07/03/2004	18.3	גמר משדר	
12	עין כמונים	ירוק	עמירם	זכר	תת-בוגר	11	13/09/2002	14/10/2002	1.0	נעלם	
13	כפר שמאי	אדום	ניר	זכר	בוגר	6	02/10/2002	01/11/2002	1.0	מוות	לא ידוע
14	עין כמונים	ירוק	עודד	זכר	בוגר	8	03/01/2003	19/01/2003	0.5	מוות	לא ידוע
15	עין כמונים	ירוק	עומרי	זכר	בוגר	71	09/01/2003	25/06/2004	17.8	גמר משדר	
16	עין כמונים	ירוק	עליזה	נקבה	בוגר	7	09/01/2003	04/02/2003	0.9	מוות	לא ידוע
17	עין כמונים	ירוק	ענת	נקבה	בוגר	59	09/01/2003	25/06/2004	17.8	גמר משדר	
18	קדרים מחצבה	ירוק	קידר	זכר	בוגר	66	21/02/2003	26/08/2004	18.4	גמר משדר	
19	קדרים מחצבה	ירוק	קרן	נקבה	בוגר	48	29/03/2003	23/09/2004	18.1	גמר משדר	
20	כפר שמאי	אדום	שומשום	זכר	בוגר	49	15/04/2003	06/05/2004	12.9	מוות	לא ידוע
21	כפר שמאי	אדום	שימחה	נקבה	בוגר	34	22/05/2003	06/04/2004	10.7	מוות	דריסה
22	כפר שמאי	אדום	שמן	זכר	בוגר	17	05/06/2003	02/11/2003	5.0	מוות	צייד
23	כפר שמאי	אדום	אגס	נקבה	תת-בוגר	5	17/06/2003	13/07/2003	0.9	מוות	הרעלה
24	כפר שמאי	אדום	אסולין	נקבה	בוגר	41	17/06/2003	20/12/2004	18.4	פעיל	
25	כפר שמאי	אדום	שמלול	נקבה	בוגר	40	17/06/2003	30/06/2004	12.6	מוות	דריסה
26	כפר שמאי	אדום	שיר	נקבה	בוגר	40	10/07/2003	21/10/2004	15.6	פעיל	
27	כפר שמאי	אדום	אולי	זכר	תת-בוגר	38	10/07/2003	17/10/2004	15.5	גמר משדר	
28	כפר שמאי	אדום	אנה	נקבה	בוגר	35	10/07/2003	21/10/2004	15.6	גמר משדר	
29	כפר חנניה	ירוק	מתילדה	נקבה	בוגר	66	15/07/2003	07/07/2004	11.9	מוות	מלכודת
30	כפר חנניה	ירוק	מעיין	נקבה	תת-בוגר	22	16/07/2003	19/10/2003	3.2	מוות	לא ידוע
31	כפר חנניה	ירוק	מוקי	זכר	תת-בוגר	31	17/07/2003	16/01/2004	6.1	מוות	לא ידוע
32	כפר חנניה	ירוק	מנשה	זכר	תת-בוגר	60	18/07/2003	06/10/2004	14.9	גמר משדר	
33	פרוד	אדום	פסח	זכר	בוגר	48	29/07/2003	13/11/2004	15.8	גמר משדר	
34	פרוד	אדום	פסטה	נקבה	תת-בוגר	29	31/07/2003	23/04/2004	8.9	מוות	הרעלה
35	פרוד	אדום	פולינה	נקבה	בוגר	38	01/08/2003	05/10/2004	14.4	גמר משדר	
36	פרוד	אדום	פרדי	זכר	בוגר	44	01/08/2003	05/10/2004	14.4	גמר משדר	
37	שפר	אדום	שמיל	זכר	תת-בוגר	47	04/08/2003	30/10/2004	15.1	גמר משדר	
38	שפר	אדום	שלומי	זכר	תת-בוגר	15	04/08/2003	20/11/2003	3.6	מוות	לא ידוע
39	עין כמונים	ירוק	עינב	נקבה	תת-בוגר	53	04/08/2003	30/10/2004	15.1	גמר משדר	
40	עין כמונים	ירוק	עמליה	נקבה	בוגר	45	05/08/2003	10/09/2004	13.4	מוות	לא ידוע
41	קדרים מחצבה	ירוק	קדם	זכר	בוגר	4	06/08/2003	23/08/2003	0.6	מוות	לא ידוע
42	אמירים	ירוק	אמוץ	זכר	תת-בוגר	15	06/08/2003	18/12/2003	4.5	נעלם	
43	קדרים מחצבה	ירוק	קלמנטינה	נקבה	תת-בוגר	43	08/08/2003	02/11/2004	15.1	פעיל	

44	אמירים	ירוק	אמי	נקבה	תת-בוגר	6	05/09/2003	25/09/2003	0.7	מוות	לא ידוע
45	אמירים	ירוק	אמדוקס	זכר	תת-בוגר	30	11/09/2003	14/05/2004	8.2	נעלם	
46	קדרים מחצבה	ירוק	קלע	נקבה	תת-בוגר	5	03/10/2003	30/10/2003	0.9	מוות	מלכודת
47	אמירים	ירוק	אמרלד	זכר	תת-בוגר	6	03/10/2003	30/11/2003	1.9	נעלם	
48	קדרים מחצבה	ירוק	קוים	נקבה	בוגר	32	06/11/2003	13/11/2004	12.4	פעיל	
49	כפר שמאי	אדום	שמעין	נקבה	בוגר	22	22/12/2003	14/11/2004	10.9	פעיל	
50	כפר שמאי	אדום	שממה	נקבה	בוגר	24	22/12/2003	14/11/2004	10.9	פעיל	
51	רביד	ירוק	רותם	נקבה	בוגר	32	30/12/2003	20/11/2004	10.9	פעיל	
52	רביד	ירוק	רגב	זכר	בוגר	20	19/01/2004	22/06/2004	5.2	נעלם	
53	רביד	ירוק	רביד	זכר	בוגר	28	19/01/2004	20/11/2004	10.2	פעיל	
54	רביד	ירוק	ניסים	זכר	בוגר	14	21/01/2004	27/03/2004	2.2	מוות	הרעלה
55	מצפה נטופה	ירוק	גולני	זכר	בוגר	21	19/03/2004	20/11/2004	8.2	פעיל	
56	מצפה נטופה	ירוק	גרש	זכר	בוגר	20	30/03/2004	24/10/2004	6.9	מוות	הרעלה
57	מצפה נטופה	ירוק	גלי	נקבה	בוגר	14	20/05/2004	20/11/2004	6.1	מוות	הרעלה
58	כפר שמאי	אדום	אורית	נקבה	תת-בוגר	7	16/06/2004	27/09/2004	3.4	נעלם	
59	כפר שמאי	אדום	אפרסק	זכר	תת-בוגר	9	17/06/2004	14/11/2004	5.0	פעיל	
60	כפר שמאי	אדום	אדר	נקבה	תת-בוגר	8	17/06/2004	14/11/2004	5.0	פעיל	
61	חזון	אדום	חרוב	נקבה	בוגר	5	20/06/2004	12/09/2004	2.8	מוות	לא ידוע
62	רביד	ירוק	ריבי	נקבה	תת-בוגר	3	22/06/2004	10/07/2004	0.6	מוות	לא ידוע
63	חזון	אדום	חגית	נקבה	תת-בוגר	11	28/06/2004	01/11/2004	4.2	פעיל	
64	חזון	אדום	חיים	זכר	תת-בוגר	12	28/06/2004	20/11/2004	4.8	פעיל	
65	חזון	אדום	חדווה	נקבה	בוגר	10	28/06/2004	20/11/2004	4.8	פעיל	
66	רביד	ירוק	רננה	נקבה	תת-בוגר	2	30/06/2004	06/07/2004	0.2	מוות	לא ידוע
67	עין כמונים	ירוק	עירית	נקבה	תת-בוגר	8	05/07/2004	18/10/2004	3.5	מוות	לא ידוע
68	רביד	ירוק	רונן	זכר	תת-בוגר	3	07/07/2004	14/07/2004	0.2	מוות	מלכודת
69	מצפה נטופה	ירוק	גזר	נקבה	תת-בוגר	7	05/08/2004	20/11/2004	3.6	מוות	הרעלה
70	רביד	ירוק	רחל	נקבה	תת-בוגר	6	05/08/2004	20/11/2004	3.6	פעיל	
71	מצפה נטופה	ירוק	גד	זכר	תת-בוגר	3	17/08/2004	17/10/2004	2.0	מוות	לא ידוע
72	כפר שמאי	אדום	שולה	נקבה	תת-בוגר	6	05/09/2004	06/11/2004	2.1	מוות	הרעלה
73	כפר שמאי	אדום	שלמה	זכר	תת-בוגר	7	05/09/2004	14/11/2004	2.3	פעיל	
74	רביד	ירוק	רפי	זכר	תת-בוגר	7	06/09/2004	20/11/2004	2.5	פעיל	
75	חזון	אדום	מנגו	זכר	תת-בוגר	5	12/09/2004	01/11/2004	1.7	מוות	לא ידוע
76	מצפה נטופה	ירוק	גשם	זכר	תת-בוגר	4	06/10/2004	23/12/2004	2.6	מוות	לא ידוע
77	כפר שמאי	אדום	שעל	זכר	תת-בוגר	1	02/12/2004	20/12/2004	0.6	פעיל	