

דוח מדעי סופי לתכנית מחקר מספר 277-0267-12

יחסי הגומלין בין הצומח העשבוני, הצומח המעוצה ורעיית צאן באזור צחיח למחצה

The relationships between herbaceous vegetation, woody vegetation and small ruminant grazing in a semi-arid region

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולהנהלת ענף מרעה וקרן קיימת לישראל

[מספר המחקר בקק"ל 90-3-403-10]

ע"י

המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני	דוד אונגר
המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני	אבי פרבולוצקי
המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת בן-גוריון	טל סבוראי
המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני	רפי יהונתן
המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני	דני ברקאי
המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני	חגית ברעם
המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני	עזרא בן-משה

Eugene David Ungar, Department of Field Crops of Natural Resources, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250.

E-mail: eugene@volcani.agri.gov.il

Avi Perevolotsky, Department of Field Crops of Natural Resources, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250.

E-mail: avi@volcani.agri.gov.il

Tal Svoray, Department of Geography and Environmental Development, Ben-Gurion University. P.O. Box 653, Beer Sheva 84105.

E-mail: tsvoray@bgumail.bgu.ac.il

Rafi Yonatan, Department of Field Crops of Natural Resources, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250.

E-mail: haqit@volcani.agri.gov.il

Dani Barkai, Department of Field Crops of Natural Resources, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250.

E-mail: ycbarkai@volcani.agri.gov.il

Hagit Baram, Department of Field Crops of Natural Resources, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250.

E-mail: haqit@volcani.agri.gov.il

Ezra Ben-Moshe, Department of Field Crops of Natural Resources, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250.

E-mail: ezrabm@volcani.agri.gov.il

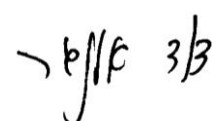
תקציר

הצגת הבעיה: חסר ידע אמפירי מוצק לגבי שטחי המרעה של הנגב הצפוני בעניין הייצור הראשוני של הצומח העשבוני, הכיסוי של הצומח המעוצה, וההיבט המרחבי של ניצול השטחים על ידי עדרי צאן, על מנת לשפר המלצות ממשק. **מטרות המחקר:** לכמת את הייצור הראשוני של הצומח העשבוני ואת תגובתו למשטר הגשמים, בית גידול ורעיה, ולסכם מערך ניטור ארוך טווח שהתחיל בסוף שנות ה-80. לכמת את הכיסוי של הצומח המעוצה ואת תגובתו לבית גידול, רעיה ואירועי בצורת, ולסכם מערך ניטור ארוך טווח של 12 שנה. לבחון את תגובת הכיסוי של צומח מעוצה לרעיה וכריתה במסגרת ניסוי מבוקר. לחקור את ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן. **שיטות העבודה:** המחקר נערך בחוות להבים ובחוות אלה בצפון הנגב. הביומסה של הצומח העשבוני נמדד בשיא העונה הירוקה בארבעה בתי גידול שונים, בשטח הפתוח לרעיה ובתוך גדרות. הכיסוי של הצומח המעוצה נמדד לאורך חתכים קבועים בארבעה בתי גידול שונים, בשטח הפתוח לרעיה ובתוך גדרות. הכיסוי של הצומח המעוצה נמדד לאורך חתכים קבועים ב-16 חלקות ניסוי של דונם כל אחת, ובארבעה טיפולים שהם צירופים של כריתת הצומח המעוצה (כן או לא) ורעיית צאן (כן או לא). תנועת עדרים בשטחי מרעה נקבע על ידי מכשירי GPS מיוחדים. עיבוד הנתונים נעשה בשילוב עם מערכות GIS. **תוצאות עיקריות:** הייצור הראשוני של הצומח העשבוני בשיא העונה הירוקה מגיב בצורה חזקה ודי ליניארית לכמות הגשם השנתית, והיא תלויה מאוד בטיב בית הגידול. ללא רעיה, ממוצע היבול הרב-שנתי הוא: 222, 88, 87, ו-67 ק"ג לדונם בכתפי וואדי, מפנה צפוני, מפנה דרומי, וראש גבעה, בהתאמה. לרעיה הייתה השפעה קטנה על הביומסה בשיא העונה. הרעיה השפיעה במידה קטנה על הכיסוי של הצומח המעוצה לאורך 12 שנה, אבל הייתה תגובה חזקה לבצורת, בעיקר ירידה בכיסוי של סירה קוצנית. לאחר הכריתה, הכיסוי של סירה קוצנית התאושש בקצב של כ-1.5 נקודות האחוז לשנה, ולא הושפע מרעיה. אופן השימוש במרחב על ידי עדרי צאן היה מאוד לא אחיד, ותלוי בין היתר בפנות, שיפוע ומרחק מהמכלאות. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** ייתכן מאוד שניתן להגדיל את שיעור האכלוס של בעלי חיים באזור צפון הנגב מעל 0.1 ראש לדונם כפי שהיה נהוג בחוות להבים. לרעיה יש השפעה קטנה על הכיסוי של הצומח המעוצה, גם לאחר כריתתו. בצורת היא כנראה מנגנון חשוב לוויסות הכיסוי של סירה קוצנית, וכן הזמינות של מיקרו-אתרים להתבססות. חוסר אחידות בשימוש במרחב על ידי עדרים עלול לגרום לדגרדציה וניתן לשפר את זה על ידי שילוב של מודעות וניטור באמצעות כלים טכנולוגיים מתאימים.

הצהרת החוקר הראשי

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר: 

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר

מאמרים שעברו ביקורת מדעית:

- Ungar, E.D., Stavi, I., Lavee, H. and Sarah, P. (2010) Effects of livestock traffic on rock fragment movement on hillsides in a semiarid patchy rangeland. *Land Degradation & Development* **21**:92–99.
- Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2010) Variability of soil aggregation in a hilly semi-arid rangeland. *Journal of Arid Environments* **74**:946–953.
- Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2011) Soil aggregate fraction 1-5 mm: An indicator for soil quality in rangelands. *Journal of Arid Environments* **75**:1050–1055.
- Arnon, A., Svoray, T. and Ungar, E.D. (2011) The spatial dimension of pastoral herding: a case study from the northern Negev. *Israel Journal of Ecology & Evolution* **57**:129–149.
- Stavi, I., Lavee, H., Ungar, E.D. and Sarah, P. (2012) Grazing-induced modification of a semi-arid rangeland from a two-phase to a three-phase mosaic geo-ecosystem. *Arid Land Research and Management* **26**:79–83.
- Segoli, M., Ungar, E.D., Shachak, M. (2012) Fine-scale spatial heterogeneity of resource modulation in semi-arid 'islands of fertility'. *Arid Land Research and Management* **26**:344–354.
- Segoli, M., Ungar, E.D., Giladi, I., Arnon, A., Shachak, M. (2012) Untangling the positive and negative effects of shrubs on herbaceous vegetation in drylands. *Landscape Ecology* **27**:899–910.
- Giladi, I., Segoli, M., Ungar, E.D. (2013) Shrubs and herbaceous seed flow in a semiarid landscape: dual functioning of shrubs as trap and barrier. *Journal of Ecology* **101**:97–106.

זהבי, מ., אונגר, י.ד., סבוראי, ט. (2012) אחידות השימוש במרחב ע"י עדרי צאן בחוות בודדים. *אקולוגיה וסביבה* **13**(1), 78–83.

דה מלאך, נ., אונגר, י.ד., פוט, ה., יונתן, ר., ברקאי, ד., בן משה, ע., ברעם, ח., קיגל, ח. (2012) רעייה ובצורת בספר המדבר - מגמות ארוכות טווח בכיסוי הצומח המעוצה. *אקולוגיה וסביבה* **13**(2), 166–173.

כנסים:

- Ungar, E.D. (2010) Management challenges of animal production on semiarid and Mediterranean rangelands. p. 96 in Book of Abstracts of the 61st Annual Meeting of the European Association for Animal Production. August 23rd - 27th, 2010, Heraklion, Greece.
- de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2011) Shrubs subjected to grazing and drought - resilience or collapse? Long-term trends in the cover of woody vegetation in a semiarid region. p. 159 in Proceedings 39th Annual Conference of the Israel Society of Ecology and Environmental Sciences, June 27-28, 2011, Megiddo Regional Council.
- de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2012) The response of shrubs to grazing and drought – resilience or collapse? Long-term trends in a semiarid region. p. 18–19 in Proceedings 20th Conference of the Israel Rangeland Science Society, March 26, 2012. (Hebrew).

תוכן עניינים

5	.....	תקציר
6	.....	1 מבוא
6	.....	1.1 אתרי המחקר
6	.....	1.2 ניטור ארוך-טווח של הייצור הראשוני
7	.....	1.3 ניטור ארוך-טווח של הכיסוי של הצומח המעוצה
7	.....	1.4 התאוששות הצומח המעוצה לאחר הכריתה
8	.....	1.5 ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן
8	.....	2 פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו
8	.....	2.1 ניטור ארוך-טווח של הייצור הראשוני
9	.....	2.2 ניטור ארוך-טווח של הכיסוי של הצומח המעוצה
11	.....	2.3 התאוששות הצומח המעוצה לאחר הכריתה
12	.....	2.4 ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן
14	.....	3 דיון
17	.....	4 איורים
21	.....	5 פרסומים מדעיים
21	.....	6 תודות למממנים
22	.....	7 סיכום עם שאלות מנחות

דו"ח המחקר

תקציר

הצגת הבעיה: חסר ידע אמפירי מוצק לגבי שטחי המרעה של הנגב הצפוני בעניין הייצור הראשוני של הצומח העשבוני, הכיסוי של הצומח המעוצה, וההיבט המרחבי של ניצול השטחים על ידי עדרי צאן, על מנת לשפר המלצות ממשק. **מטרות המחקר:** לכמת את הייצור הראשוני של הצומח העשבוני ואת תגובתו למשטר הגשמים, בית גידול ורעיה, ולסכם מערך ניטור ארוך טווח שהתחיל בסוף שנות ה-80. לכמת את הכיסוי של הצומח המעוצה ואת תגובתו לבית גידול, רעיה ואירועי בצורת, ולסכם מערך ניטור ארוך טווח של 12 שנה. לבחון את תגובת הכיסוי של צומח מעוצה לרעיה וכריתה במסגרת ניסוי מבוקר. לחקור את ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן. **שיטות העבודה:** המחקר נערך בחוות להבים ובחוות אלה בצפון הנגב. הביומסה של הצומח העשבוני נמדד בשיא העונה הירוקה בארבעה בתי גידול שונים, בשטח הפתוח לרעיה ובתוך גדרות. הכיסוי של הצומח המעוצה נמדד לאורך חתכים קבועים בארבעה בתי גידול שונים, בשטח הפתוח לרעיה ובתוך גדרות. הכיסוי של הצומח המעוצה נמדד לאורך חתכים קבועים ב-16 חלקות ניסוי של דונם כל אחת, ובארבעה טיפולים שהם צירופים של כריתת הצומח המעוצה (כן או לא) ורעיית צאן (כן או לא). תנועת עדרים בשטחי מרעה נקבע על ידי מכשירי GPS מיוחדים. עיבוד הנתונים נעשה בשילוב עם מערכות GIS. **תוצאות עיקריות:** הייצור הראשוני של הצומח העשבוני בשיא העונה הירוקה מגיב בצורה חזקה ודי ליניארית לכמות הגשם השנתית, והיא תלויה מאוד בטיב בית הגידול. ללא רעיה, ממוצע היבול הרב-שנתי הוא: 222, 88, 87, ו-67 ק"ג לדונם בכתפי וואדי, מפנה צפוני, מפנה דרומי, וראש גבעה, בהתאמה. לרעיה הייתה השפעה קטנה על הביומסה בשיא העונה. הרעיה השפיעה במידה קטנה על הכיסוי של הצומח המעוצה לאורך 12 שנה, אבל הייתה תגובה חזקה לבצורת, בעיקר ירידה בכיסוי של סירה קוצנית. לאחר הכריתה, הכיסוי של סירה קוצנית התאושש בקצב של כ-1.5 נקודות האחוז לשנה, ולא הושפע מרעיה. אופן השימוש במרחב על ידי עדרי צאן היה מאוד לא אחיד, ותלוי בין היתר בפנות, שיפוע ומרחק מהמכלאות. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** ייתכן מאוד שניתן להגדיל את שיעור האכלוס של בעלי חיים באזור צפון הנגב מעל 0.1 ראש לדונם כפי שהיה נהוג בחוות להבים. לרעיה יש השפעה קטנה על הכיסוי של הצומח המעוצה, גם לאחר כריתתו. בצורת היא כנראה מנגנון חשוב לוויסות הכיסוי של סירה קוצנית, וכן הזמינות של מיקרו-אתרים להתבססות. חוסר אחידות בשימוש במרחב על ידי עדרים עלול לגרום לדגרדציה וניתן לשפר את זה על ידי שילוב של מודעות וניטור באמצעות כלים טכנולוגיים מתאימים.

1 מבוא

רעיה היא שימוש קרקע נרחב באזור הנגב. האם יש עדות לתהליכי דגרדציה באזור, האם ממשק רעיה מסורתי תורם לתהליך, מה צורת הניצול הנכונה של שטחים אלה? שאלות אלה דורשות עבודת שדה ומחקר בשלושה מישורים: מעקב, ניתוח אמפירי, והבנת תהליכים. חוות ההדגמה לבדואים מתאימה מאוד למחקר כזה. היא משמשת כאתר מחקר וניסוי הקשורים למערכת הייצור של המשק הבדואי הפסטוראלי. הפעילות המדעית הזאת חשובה כי האתר מייצג משאב טבע לאומי ואזורי בעל היקף משמעותי, שככל הנראה יישאר כשטח פתוח לטווח הארוך. כמן כן, עבדנו בתא שטח אחר באזור – חוות אלה של משפחת צדק שעל יד קיבוץ שומריה – כדי להרחיב את בסיס המידע שלנו בנושא תנועה מרחבית של עדרים, ולקבל נתונים מעדרים במגזר היהודי. במחקר הנוכחי עבדנו במספר ערוצים במקביל, ובדו"ח מסכם זה נציג מבט-על לגבי ההתקדמות שהושגה בהם. פירוט מלא לגבי כל אחד מהם ניתן למצוא בדוחות השנתיים של כל שנות המחקר.

1.1 אתרי המחקר: חוות ההדגמה לבדואים שוכנת בצפון הנגב, ממזרח לשוב להבים. שטחה כ- 8000 דונם המצויים באזור גבעי בעל תנאים אקולוגיים מגוונים. כמות המשקעים היא כ- 250-300 מ"מ בשנה, תוך שינויים חריפים בין השנים. הצמחייה היא בתה פתוחה של שיחים נמוכים (בעיקר סירה קוצנית), וצמחייה עשבונית חד-שנתית. בחווה נמצא עדר צאן לבשר בממשק בדואי. השטח נמצא תחת לחצי רעיה שונים התלויים, בין היתר, במרחק מהמכלאה ובטופוגרפיה. תזונת העדר מתבססת על מרעה ירוק בסוף החורף ובאביב, שלפים בקיץ, ומזון מוגש + רעית קמל בעונת המעבר. חוות אלה היא חוות בודדים אורגנית לגידול צאן הממוקמת צפונית לשומריה בנגב הצפוני, שטח החווה משתרע על כ-8400 דונם. הטופוגרפיה האופיינית היא גבעית והגובה הממוצע הוא 430 מטר מעל פני הים. האקלים חצי צחיח, ומאופיין בכמות משקעים שנתית ממוצעת של 304 מ"מ. בחורף, טמפרטורה יומית ממוצעת וטמפרטורה מקסימאלית ממוצעת היא 11°C ו- 17°C , בהתאמה. בקיץ, טמפרטורה יומית ממוצעת וטמפרטורה מקסימאלית ממוצעת היא 25°C ו- 32°C , בהתאמה. בחווה שני עדרים המונים יחד כ-800 ראש, עדר חולבות ועדר שאינו נחלב, והם מעורבים ומורכבים מעזים וכבשים. (לקראת סוף תקופת המחקר עדר הכבשים נמכר). מדי יום, העדרים יוצאים למרעה מלווים בשני רועים וחוזרים למכלאה בתום מספר שעות רעיה. העדר שאינו נחלב מבלה יותר שעות במרעה היות והוא ניזון מהצומח העשבוני והמעוצה הטבעי, בעוד העדר שנחלב ניזון ממרעה ומתוספות מזון מוגש בזמן החליבה.

1.2 ניטור ארוך-טווח של הייצור הראשוני: הייצור הראשוני הוא מרכזי ביותר במערכת האקולוגית

של צפון הנגב ובמערכת גידול בעלי-חיים במרעה. הניטור של ייצור הראשוני מהווה את עמוד השדרה של מערכת איסוף הנתונים בלהבים. סיכמנו את התוצאות של מערך זה וניתחנו את הקשר בין הייצור למשטר הגשמים, וכן השפעת הרעייה על הייצור. המושג יצור ראשוני כולל בתוכו את כל צורות החיים המבצעות פוטוסינתזה, אבל בסעיף זה של הדו"ח נתייחס למרכיב העשבוני של הצמחייה בלבד, ולא למרכיב המעוצה. הסיבה לכך היא שהדגש של הפרויקט כולו הוא על הצומח העשבוני, וההתייחסות לצומח המעוצה היא כאל גורם דומיננטי במבנה הנוף המשפיע על המינים

העשבונים. גם מבחינת ניצול אתר המחקר של הפרויקט כשטחי מרעה, יש צורך להתייחס למרכיב העשבוני בנפרד, כי הצומח העשבוני והמעוצה הם סוגי מזון מאוד שונים מבחינה תזונתית, ולהם עונתיות שונה מאוד בזמינות ובאיכות התזונתית.

1.3 ניטור ארוך-טווח של הכיסוי של הצומח המעוצה: המערכת האקולוגית באזורים צחיחים וצחיחים למחצה נתפסת כמונעת בעיקר על ידי מגבלת מים או על ידי רעיית צאן. גם כתמי השיחים הם גורם משמעותי במערכת ויש הרואים בהם את "מעצבי הנוף הראשיים" אשר משפיעים על פיזור המשאבים במערכת, וכתוצאה מכך על השפעה והפיזור של שאר האורגניזמים. מטרת המחקר הייתה לבדוק כיצד רעיית הצאן ומגבלת המים (שמתבטאת בבתי גידול שמקבלים או מאבדים כמות נגר שונה, ובשוני במשקעים בין השנים) משפיעים על הכיסוי של השיחים לאורך זמן. הבנה טובה של הדינאמיקה של הצומח המעוצה בזמן ובמרחב עשויה לעזור בהבנת המערכת האקולוגית כולה וכן לסייע בשאלות הקשורות לממשק הרצוי באזור. במסגרת המחקר נבחנו מספר שאלות הקשורות לאינטראקציות בין המשקעים, הרעייה והשיחים: א. האם הרעייה באזור צחיח למחצה ים תיכונה מקטינה, מגדילה או לא משפיעה על הכיסוי המעוצה? ב. כיצד בית הגידול משפיע על הרכב וכיסוי הצומח המעוצה והאם יש קשרי גומלין בינו לבין הרעייה? ג. האם יש שוני בכיסוי המעוצה לאורך השנים והאם ניתן לקשר אותו לכמות המשקעים? האם הקשר הוא ליניארי?

כאשר ניסינו להבין דפוסים ארוכי טווח בכיסוי הצומח המעוצה בלהבים, נראה היה שלשנתיים רצופות של בצורת קשה ב-1999 ו-2000 הייתה השפעה משמעותית על הדינאמיקה של המערכת. במטרה לתת מסגרת תיאורטית על מנת לבחון את התגובה של הצומח המעוצה לבצורות, העלנו 5 מצבים תיאורטיים שיכולים להתרחש בעקבות הבצורת: א. חוסר השפעה - אין לבצורת השפעה על הכיסוי של השיח. ב. עידוד זמני - עלייה בכיסוי של השיח ולאחריה ירידה. העלייה נגרמת בעקבות יתרון תחרותי ופתיחה של נישות בעקבות ירידה בכיסוי שאר השיחים. בשלב מאוחר יותר (התרחקות משנות הבצורת) הכיסוי יורד. ג. פגיעה והתאוששות - ירידה בכיסוי לאחר שנות הבצורת שאחריה ישנה עלייה. ניתן להבחין בין שני מצבי התאוששות. התאוששות מלאה - כאשר קצב ההתאוששות הוא מהיר, הכיסוי חוזר למצב הקודם שלו לפני הבצורת. התאוששות חלקית - כאשר קצב ההתאוששות הוא איטי הכיסוי איננו חוזר למצב הקודם שלו (במהלך שנות המחקר). ד. שינוי מצב שלילי - ירידה בכיסוי לאחר הבצורת שלאחריה המצב איננו משתנה. ה. שינוי מצב חיובי - עלייה בכיסוי לאחר הבצורת שלאחריה המצב איננו משתנה.

1.4 התאוששות הצומח המעוצה לאחר הכריתה: בדו"ח זה נביא סיכום של אחד המחקרים שהתבצעו במסגרת פרויקט זה, שהתמקד בהשפעת שני סוגי הפרעה אקולוגית - כריתה של צומח מעוצה ורעיה - על מדדים שונים בעלי חשיבות לנוף כשטח מרעה. היבט חשוב וחדש במחקר זה הוא הפעלת הטיפולים בסקאלה גדולה יחסית למה שנהוג בניסויים אקולוגיים/חקלאיים. המחקר אמור לספק מידע בסיסי לגבי שאלה בעניין תפקיד הצומח המעוצה בשטחי המרעה בספר המדבר. האם הכיסוי של צומח מעוצה בא על חשבון יצור עשבוני, ולכן פוגע בסופו של דבר ברמת יצור בעלי

חיים, או האם הצומח המעוצה ממלא תפקיד מרכזי במערכת שמונע דליפת משאבים כגון מים וקרקה, ושומר על רמה כללית גבוהה יותר של תפקוד המערכת האקולוגית כולה?

1.5 ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן: רעיה היא אחד הגורמים העיקריים למדבור באזורים צחיחים. במקרים רבים, מדבור נובע מחוסר אחידות השימוש במרחב, ולא דווקא ממספר גדול מדי של בעלי חיים. דגמי הפיזור המרחביים של בעלי חיים הרועים, מושפעים מגורמים ביוטיים כמו זמינות מקורות המזון ואיכותו ומגורמים א-ביוטיים כמו מרחק ממים, נגישות וטופוגרפיה. ההטרונות המרחבית משתנה במהלך השנה בהתאם לעונות וגדלה במהלך העונה הלחה כתלות בפנות המדרון, ומיקרו-טופוגרפיה. תנאים אלו גורמים במקרים רבים לפיזור מרחבי לא אחיד של העדר על פני השטח. חוסר אחידות יכול להוביל להשפעות שליליות כגון אובדן מיני צומח, החלפת מינים, סחיפת קרקעות וניצול לא יעיל של מקורות המרעה. רוב פעילויות ניהול רעיה בעלי חיים מבויתים מקדמות פיזור אחיד של הרעיה בשטחים. הדבר נעשה על ידי השפעה על גודל העדר, קיבוץ העדר (herding), ומיקום מקורות מים. זאת במטרה ליצור פיזור אחיד ככל הניתן.

עד לא מזמן, כימות וניתוח היבטים מרחביים של ניצול שטחי מרעה היה נדיר עקב קשיים מתודולוגיים. שימוש במכשירי GPS בשילוב עם מערכת מידע גיאוגרפית (ממ"ג או GIS), מהווה התקדמות טכנולוגית משמעותית ומציבה פתרון לקבלת מידע בנוגע למיקום מדויק של בעלי חיים לאורך זמן, ניטור ללא הפרעות לבעלי חיים הרועים ועלות תפעול נמוכה יחסית. נתוני ה-GPS יכולים להיות משויכים בקלות יחסית למספר רב של נתונים מרחביים אשר נאגרים בממ"ג. יכולת זו מאפשרת קישור וניתוח של קשרים מורכבים בין פיזור, התנהגות ותנועה לתכונות פני השטח. מערכת משולבת כזו היא מתחכמת ויעילה יותר במונחי זמן ועלות בהשוואה לשיטות איסוף נתוני שדה מסורתיות. מטרת המחקר היא לשפר את הבנתנו בנוגע להשפעת גורמי סביבה על אחידות השימוש בשטח החווה ועל דינאמיקת תנועת ופיזור העדר במרחב ובזמן. זאת על מנת על מנת לנהל פיזור הרעיה בצורה המיטבית תוך פגיעה מזערית בשטח המרעה.

2 פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו

2.1 ניטור ארוך-טווח של הייצור הראשוני

המחקר התבצע בחוות להבים ומערך הניטור של הצומח העשבוני החל בשנת 1987/88. הניסוי נערך בשלושה אתרים (אגני ניקוז) שונים, שבכל אחד מהם היה ייצוג של ארבעה בתי גידול שונים: מפנה צפוני, מפנה דרומי, ראש גבעה וכתף ואדי. בתי הגידול השונים נחשפים לעוצמת קרינה שונה ומקבלים (או מאבדים) כמות שונה של נגר. בשלב מאוחר יותר הוקם מערך של גדרות כדי לעקוב אחרי התפתחות הצומח ללא רעיה. לשם כך, בכל צירוף של אתר ובית גידול היו 4 חלקות. כל חלקה הייתה מורכבת מגדורה בגודל של 10×10 מטר. מטרת הגדרות הייתה הגנה מרעייה ובנייתן נעשתה בשלושה שלבים בשיטת ה"הגדרות המתוספות". הגדרות הראשונות נבנו בשנת 1994 וגדרות נוספות, צמודות אליהן, נבנו בשנת 1995 ובשנת 1996. הגדרות המתוספות הוקמו בשני אתרים בלבד. המטרה המקורית של הגדרות המתוספות הייתה לראות השפעה של שחרור מרעייה

בשנים שונות. לצורך סיכום הנתונים מגדורות שונות (בתוך בית גידול ואתר) אוחדו. בנוסף, אנחנו מתייחסים כאן אך ורק למדידות שזוהו כשיא העונה. הושקעה עבודה רבה מאוד בשנה האחרונה של המחקר בקביעת שיא העונה, שהתחשבה לא רק בכמות הביומסה אלא גם בעיתוי המוחלט, בעיתוי ביחס לעקומות צימוח אחרות מאותה שנה, ובשיטת הדיגום.

תוצאות: איור 1 מראה מבט-על על כלל הנתונים, בהתאם לשנה, בית גידול, ורעיה. ברור שמקור השונות העיקרית הוא שנה, ולאחר מכן בית גידול. השפעת הרעיה היא יחסית קטנה. אם ניקח את כל שנות הניטור (24 שנים) והנתונים של השטח הפתוח לרעיה, ממוצע הביומסה בשיא העונה לפי בית גידול הוא: כתפי וואדי – 207, מפנה צפוני – 72, מפנה דרומי – 77, ראש גבעה – 43 גרם למטר רבוע או ק"ג לדונם. אם ניקח את שנות הניטור שבהם יש מדידות עם ובלי רעיה (18 שנים), ממוצע הביומסה בשיא העונה לפי בית גידול, עם ובלי רעיה, הוא: כתפי וואדי – 195 (עם), 222 (בלי); מפנה צפוני – 74 (עם), 88 (בלי); מפנה דרומי – 80 (עם), 87 (בלי); ראש גבעה – 42 (עם), 67 (בלי) גרם למטר רבוע או ק"ג לדונם. בניית שונות של נתונים אלה ($n=432$), שנה, בית גידול ורעיה היו מובהקים מאוד. האינטראקציה בין בית גידול ורעיה לא הייתה מובהקת. רעיה הקטינה את שיא הביומסה בכ-15%. המועמד הראשון כגורם הסבר לפקטור "שנה" הוא הגשם, ואכן סה"כ גשם שנתי מסביר חלק גדול מהשונות בביומסה. איור 2 מראה רגרסיה ליניארית בין ביומסה וגשם שנתי בהתאם לבית גידול וגורם הרעיה. כל הקשרים היו מובהקים מאוד, אם כי אחוז השונות המוסבר על ידי גשם גדול יותר ללא רעיה מאשר עם רעיה. שיפוע קו הרגרסיה היה גבוה יותר ללא רעיה מאשר עם רעיה, כצפוי. התמורה לתוספת של מ"מ גשם ללא רעיה היא כ-1 גרם למטר רבוע בכתפי הוואדי, כ-0.4 גרם למטר רבוע במפנים הצפוניים והדרומיים, וכ-0.3 גרם למטר רבוע בראש גבעה. המקדמים האלה יורדים בכ-0.1 גרם למטר רבוע כאשר השטח פתוח לרעיה. לא היה קשר בין כמות הגשם וההפרש המוחלט בביומסה כתוצאה מהרעיה. הקטנת הביומסה בשיא עונה כתוצאה מהרעיה הייתה: כתפי וואדי – 27, מפנה צפוני – 14, מפנה דרומי – 7, ראש גבעה – 24 גרם למטר רבוע או ק"ג לדונם. גם כאשר מבטאים את השפעת הרעיה באופן יחסי, לא היה קשר בין כמות הגשם וגודל ההשפעה. ההקטנה היחסית הביומסה בשיא עונה כתוצאה מהרעיה הייתה: כתפי וואדי – 7, מפנה צפוני – 11, מפנה דרומי – 8, ראש גבעה – 28 אחוזים. הערכים של הקטנה מוחלטת בייצור מסתדרים לא רע עם חשבון פשוט של צריכה ליחידת שטח על ידי העדר: אם מניחים צפיפות של 0.1 ראש לדונם, 200 ימי רעיה לשנה (שלא כולל תקופות בשלפים או במכלאות), וצריכה יומית ממוצעת של 1 ק"ג, מתקבל ערך של 20 ק"ג לדונם.

2.2 ניטור ארוך-טווח של הכיסוי של הצומח המעוצה

המחקר התבצע בחוות להבים. הניסוי נערך בשלושה אתרים (אגני ניקוז) שונים, שבכל אחד מהם היה ייצוג של ארבעה בתי גידול שונים: מפנה צפוני, מפנה דרומי, ראש גבעה וכתף ואדי. בכל צירוף של אתר ובית גידול היו 4 חלקות. כל חלקה הייתה מורכבת מגדורה בגודל של 10×10 מטר ולצידה שטח מסומן (מחוץ לגדורה). מטרת הגדורות הייתה הגנה מרעייה ובנייתן נעשתה בשלושה שלבים בשיטת ה"גדורות המתווספות" כמתואר לעיל. המטרה המקורית של הגדורות המתווספות הייתה

לראות השפעה של שחרור מרעייה בשנים שונות. לצורך המחקר הנוכחי נבחרו 36 מתוך 48 החלקות. הנתונים שבהן השתמשנו נלקחו כל שנה בקיץ בשנים 1996-2007. נתוני הכיסוי ארוכי הטווח מבוססים על חתכים שלאורכם נמדד הכיסוי כל 10 ס"מ (point transect), כאשר בכל נקודה נבדק האם הכיסוי בה הוא מעוצה ולאיזה מין הוא שייך. כדי שהשוואת החתכים לאורך השנים תהיה בעלת משמעות בסביבה בעלת אופי הטרוגני (כתמיות בסקאלה מרחבית גדולה יחסית), נקבע שמיקום החתך יהיה קבוע ויסומן באמצעות יתדות. בכל חלקה היו שני חתכים, אחד בתוך הגדורה (אזור ללא רעייה) ואחד מחוץ לה (אזור תחת רעייה).

המודל הסטטיסטי נבחן באמצעות SAS 9.1. הוא כלל ניתוח נפרד לכל אחד מהמינים המעוצים (סירה קוצנית, מתנן שעיר, נואית קוצנית) למעט קורנית מקורקפת וכן ניתוח לכיסוי המעוצה הכללי (כיסוי כל המינים המעוצים כולל קורנית). המודל הסטטיסטי כלל ניתוח שונות רב גורמי עם מדידות חוזרות (ANOVA with repeated measures). יחידת המדידה הייתה חלקה בתוך אתר ובית גידול והיא חולקה לאזורים עם ובלי רעייה (לפי חתכים בתוך ומחוץ לגדורה), ונבדקה על פני שנים. הניתוח נעשה על הכיסוי היחסי של המינים לאחר טרנספורמציה של arcsin. ההשוואות בין בתי הגידול נעשו באמצעות מבחן Tukey. השפעת הרעייה נבחנה במבנה של הסתכלויות צמודות בין חתכים בתוך הגדורה ומחוץ לגדורה.

תוצאות לגבי מינים, בתי גידול ורעייה: איור 3 מראה את משטר הגשמים בלהבים במשך כ-60 שנה, כולל תקופת הניסוי. בהסתכלות כללית על המהלך הרב-שנתי של הממוצעים נראה שהכיסוי המעוצה הכללי גבוה יותר ללא רעייה מאשר תחת רעייה (איור 4) בכל בתי הגידול למעט ראש הגבעה (איור 5). הכיסוי גבוה יותר במפנה הצפוני לעומת שאר בתי הגידול (איור 6). במפנה הצפוני בולטת מגמת ירידה בערך בשנת 2000 ועלייה החל מ-2003. במפנה הדרומי הכיסוי הגבוה ביותר הוא באתר זורגי, השוני בין האתרים נובע מהכיסוי הגבוה של שיחי קורנית במפנה הדרומי של אתר זה. במפנה הדרומי לא בולטת מגמה ברורה לאורך השנים. בכתפי הוואדי בולטת ירידה החל בשנת 2000 (ללא עלייה בשנים מאוחרות יותר). בראש הגבעה אין מגמה ברורה.

המגמות בכיסוי הסירה הקוצנית דומות למגמות בכיסוי המעוצה הכללי בשל העובדה שמדובר במין הדומיננטי באזור. כיסוי השיחים גבוה יותר ללא רעייה מאשר תחת רעייה (למעט בראש הגבעה). ישנה ירידה בכיסוי בשנת 2000 ועלייה החל מ-2003 (למעט בכתפי הוואדי שם אין עלייה). השוני בכיסוי בין המפנה הצפוני לשאר בתי הגידול בולט יותר בכיסוי הסירה מאשר בכיסוי המעוצה הכללי.

מתנן שעיר מראה כיסוי שונה מאוד בין האתרים. ישנו כיסוי נמוך בזורגי, בינוני בבריכה וגבוה ב-495. אין שוני ברור ועקבי בין הכיסוי של השיח בחלקות עם ובלי רעייה. באופן כללי הכיסוי שלו נמוך מאוד במפנה צפוני, וגבוה יותר בשאר בתי הגידול. ישנה ירידה בכיסוי החל משנת 2000. החל משנת 2003 יש עלייה מתונה בחלק מבתי הגידול.

תוצאות לגבי ניתוח שונות תלת גורמי: המודל הסטטיסטי הרב גורמי (רעייה, בית גידול, שנה, אתר) הסביר כ-74% מהשונות עבור הכיסוי המעוצה הכללי, ו-84%, ו-43% ו-47% עבור סירה

קוצנית, מתנן שעיר ונואית קוצנית, בהתאמה. בכל הניתוחים הסטטיסטיים השונים (כיסוי מעוצה כללי, סירה קוצנית, מתנן שעיר, נואית קוצנית) למעט קורנית מקורקפת נמצאו הבדלים מובהקים בין האתרים השונים ובין השנים. השפעת הרעייה הכללית הייתה מובהקת, אולם היה שוני גדול בין המינים ובין בתי הגידול. בכל הצירופים של מין ובית גידול בהם השפעת הרעייה הייתה מובהקת, כיסוי השיחים שהיו תחת רעייה, היה נמוך יותר מאשר אלו שהיו ללא רעייה. היו אינטראקציות מובהקות בין בית הגידול לשנה (רוב המינים) ובין בית הגידול לרעייה (חלק מהמינים), אך לא היו אינטראקציות בין הרעייה לשנה עבור אף אחד מהמינים. נמצא שוני גדול בין כל אחד מבתי הגידול השונים עבור כל המינים.

תוצאות לגבי משקעים ובצורת: כמות המשקעים השתנתה מאוד לאורך השנים כאשר הממוצע היה 289 מילימטר גשם לשנה וסטיית התקן 90. השנים 1999 ו-2000 התאפיינו בבצורת קשה (140.2 ו-198.3 מילימטר גשם לשנה, בהתאמה). באופן כללי ניתן לומר שיש מגמה של ירידה בכיסוי המעוצה הכללי בין השנים 1999-2002 ועלייה מתונה בשנים שלאחר מכן. לא נמצא קשר ליניארי בין כמות המשקעים השנתית לבין השינוי (הגדלה או הקטנה) השנתי (היחסי או המוחלט) בכיסוי השיחים. בבחינת המודל של השפעת הבצורת היה שוני גדול בהשפעה בין המינים השונים ובין בית הגידול השונים אולם כל המצבים התיאורטיים שהוצעו התקבלו על פי המודל הסטטיסטי למעט שינוי מצב חיובי.

2.3 התאוששות הצומח המעוצה לאחר הכריתה

בניסוי השתמשנו במסגרת טיפולים שהוקמה בלהבים בתחילת 2005. ישנם ארבעה טיפולים שהם שילובים של שני גורמים: הסרה ואי-הסרה של החלק העל-קרקעי של הצומח המעוצה, ורעייה או מניעת רעייה. לאור ההטרואגניות המרחבית הגבוהה של הנוף, הטיפולים הוקמו בחלקות של דונם כל אחד, כך שמערך אחד של טיפולים משתרע על ארבעה דונמים. הטיפולים הופעלו על ארבעה מדרונות בעלי פנות צפון-מערב ובארבע חזרות. כל חזרה הוקמה באגן היקוות שונה. כל החלקות מגודרות, כך שהרעייה בחלקות עם רעייה מופעלת בצורה מכוונת (בסוף העונה הירוקה) על יד הכנסת מספר ידוע של בעלי חיים לתוך החלקה לזמן מדוד. הכריתה בוצעה לראשונה בדצמבר 2004, שוב בדצמבר 2005, ושוב בדצמבר 2006. מאז לא הייתה כריתה חוזרת.

המדידות העיקריות שהתבצעו במסגרת מחקר זה הם: חתכי כיסוי, ספירת נבטים, ומדידת ביומאסה עשבונית. החתכים נעשו בקיץ 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 ו-2012 בכל אחת מ-16 החלקות של הניסוי. קווים נמתחו בצורת X בין פינות החלקה. לאורך קווים אלה נרשם כל "כתם" שהוא מסוג סירה קוצנית, קורנית מקורקפת, ומחשופי סלע. הכתם נרשם בצורה של מרחק תחילתו וסופו לאורך הקו מפונת החלקה. בנוסף, נעשה ספירה של מספר כתמי עירית לאורך פס חיפוש ברוב מטר ממרכז הקו. בניתוח הנתונים, סוכמו המדידות של שני צלעי החתכים, וסך הכל האורך של כל סוג כיסוי חולק לסך הכל אורך החתכים. הניתוחים הסטטיסטיים טרם הושלמו ונסתפק בשלב זה במגמות שניתן לגלות מתוך תצוגה גרפית של התוצאות.

תוצאות: איור 7 מראה את המגמות בכיסוי של סירה קוצנית ושל קורנית מקורקפת. לגבי הכיסוי של סירה קוצנית, נראה שללא כריתה אין מגמה ברורה על פני הזמן אבל הרעיה הקטינה את הכיסוי בכמה נקודות האחוז. לעומת זאת, אנו רואים התאוששת ברורה על פני הזמן לאחר שלושה מחזורים של כריתה בשנים הראשונות של הכיסוי. מעניין לראות שמבחינת מספר הכתמים של סירה, טיפול הכריתה לא גרם לתמותה משמעותית, ועוד יותר מעניין לראות שההתאוששות של הכיסוי של הסירה נובעת מגידול של כתמים קיימים ולא מהתבססות של כתמים חדשים. לגבי הכיסוי של קורנית מקורקפת, נראה שללא כריתה אין מגמה ברורה על פני הזמן ואין השפעה של הרעיה. ישנה התאוששת מאוד איטית של הכיסוי, אם בכלל, לאחר טיפול הכריתה. מבחינת מספר הכתמים, טיפול הכריתה גרם לכאורה לתמותה משמעותית, אבל מעט הכתמים ששרדו גדלו במהלך שנות הניטור. הערירות לא נכרתו בטיפול הכריתה ואין סימן שצפיפות הערירות הגיבה בצורה כלשהי להקטנת התחרות עם צומח המעוצה. הרעיה הקטינה במעט את הכיסוי של הערירות (ראה איור 8).

2.4 ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן:

המחקר התבצע בחוות אלה. שיטות המחקר כוללות שילוב נתוני חישה מרחוק, ממ"ג, ומעקב אחרי תנועת העדרים באמצעות GPS. השתמשנו ב-Digital Elevation Model (DEM) ברזולוציה אופקית של 25×25 מ', שיוצר על ידי המכון הגיאולוגי של ישראל, לחישוב שיפוע ופנות המדרון (במעלות). כמו כן יוצרו השכבות הבאות: מרחק מהמכלאה; חלוקת שטח החווה לריבועים (Fishnet); ופוליון תיחום שטחי המרעה. בשלב זה, המחקר אינו לוקח בחשבון משתנים סביבתיים נוספים כגון ביומאסה עשבונית ומעוצה וכיסוי סלעי.

תנועת עדרי הצאן נטרה באמצעות רתמות מיוחדות מתוצרת חברת טרילוג'יקל (ראשון לציון), שכוללות מכשיר GPS וכרטיס תקשורת שמשדר את נתוני המיקום בזמן אמת לשרת מרכזי. תדירות הדיגום נקבעה לפעם בכל דקה. לפני היציאה למרעה נקשרו רתמות ה-GPS לבעלי חיים שונים בשני העדרים. העדרים יוצאים למסלולי רעיה של כ-4 שעות בעונה הירוקה ועד כ-8 שעות בעונה היבשה. ניטור עדר הצאן שלא נחלב הוגבל לשעות הבוקר בלבד בשל סיבות טכניות. קריאות מיקום במכלאה הראשית הוצאו מהניתוחים. במהלך העונות השונות של השנים 2009 ו-2010, נאגרו 105 ו-278 מסלולי רעיה, בהתאמה. מספר קריאות ה-GPS שנכנסו לניתוח הוא כ-60,000. באמצעות תוכנת ArcInfo 9.3, שולבו נתוני ה-GPS עם שכבות המידע הסביבתי על ידי חיבור מרחבי לכל שנה, בכל תא בגריד. זאת במטרה לבחון את השפעת תנאי סביבה על מהירות תנועת העדר בזמן ובמרחב.

ניתוח סטטיסטי בוצע באמצעות תוכנת JMP 7. נעשה ניתוח שונות של מהירות תנועת העדרים (משתנה תלוי) כפונקציה של המשתנים הבלתי תלויים: מרחק מהמכלאה (משתנה רציף), שיפוע (משתנה רציף) ופנות (4 קטגוריות), וכן נבחנו האינטראקציות ביניהם. ההשוואה בין המצוי (Observed) ובין הצפוי (Expected) של מספר קריאות ה-GPS בתאי הגריד נעשה באמצעות מבחן Kolmogorov-Smirnov לגבי שיפוע ומרחק מהמכלאה, ובאמצעות מבחן chi-square לגבי

פנות. בדיקה של פיזור אקראי על פני כל תאי הגריד נעשתה באמצעות מבחן של התפלגות פואסונית (Poisson distribution).

תוצאות: העדר נע בסביבה הטרוגנית בכל יום רעיה בשטח החווה. ניתוח מסלולי תנועת העדרים השונים מראה כי ישנה שונות בשימוש במרחב בין העדרים ובין השנים. ממוצע אורך מסלול הרעיה בשנת 2009 בעדר שנחלב ובעדר שלא נחלב הוא 6.5 ו-6.2 ק"מ בהתאמה ובשנת 2010, 5.6 ו-5.1 ק"מ בהתאמה. ממוצע מהירות תנועת העדרים בשנות המחקר הוא 0.46 מטר לשנייה (1.7 קילומטר לשעה). ממוצע משך יום רעיה בשנת 2009 עמד על כ-5 שעות ובשנת 2010 על 4.5 שעות וממוצע המרחק המקסימאלי מהמכלאה היה 1725 מ'.

מהירות תנועת העדרים המשתנה עשויה להצביע על תגובת העדר למשתנים הסביבתיים במרחב. בניתוח שונות של מהירות העדר, שכלל נתונים משתי השנים, הגורמים מרחק מהמכלאה ופנות המדרון היו מובהקים מאוד ($P < 0.0001$), כפי שהיו האינטראקציה בין מרחק מהמכלאה ופנות המדרון. השיפוע היה מובהק ($P < 0.0017$), וכן האינטראקציה בין מרחק מהמכלאה ושיפוע ($P < 0.0017$).

נראה כי מהירות תנועת העדרים ביחס למרחק מהמכלאה, גבוהה ביציאה בבוקר לשטחי המרעה (0.525 מטר לשנייה), והולכת וקטנה ככל שמתרחקים מהמכלאה עד למרחק של כ-1200 מ' שם המהירות דומה למהירות הממוצעת של כ-0.45 מטר לשנייה. יתכן שהתנהגות זו נובעת בבוקר מרעב ומאוחר יותר מצמא של העדרים או דחיפות לחזור למכלאה של עדר החולבות על מנת להניק את הצאצאים.

העדר הגיב בשינוי מהירות התנועה ביחס לשיפוע המדרון ולמרחק מהמכלאה. נראה כי בסמיכות למכלאה במרחק של עד 800 מ' ככל שהשיפוע גדל, מהירות התנועה עלתה. במרחקים הגדולים (בסביבות 2000 מ'), ככל שהשיפוע גדל, מהירות תנועת העדר קטנה.

השפעת הפנות הראתה כי במפנים המזרחי והדרומי, כאשר העדר מתרחק מהמכלאה הוא מאט ובמפנים הצפוני והמערבי נשמרה המהירות הממוצעת ללא הבדל משמעותי. לזוויות שיפוע ופנות המדרון השפעה על מהירות תנועת העדר בשני אופנים. (1) בעלי חיים יעדיפו לנוע בניצב לשיפוע המדרון בכדי לחסוך בהוצאת אנרגיה; (2) במפנים השונים ישנם הבדלי כמות ביומאסה והרכב מינים: המפנים הדרומיים יקבלו יותר קרינה ממפנים אחרים, ובשל כך יהיו פחות יצרניים.

איור 9 מראה את מספר הביקורים המצטבר של העדרים בכל תא בשטח המחקר, על סמך מעקב במשך שנתיים. נמצא שההטרוגניות של השימוש במרחב היא גבוהה מאוד. בבחינת התפלגות פואסון של הנתונים נראה כי העדר נע בשטח החווה בצורה לא אקראית: ישנו אחוז גבוה של תאים שבהם העדר לא ביקר כלל או מספר מועט מאוד של פעמים מחד, ומספר ביקורים גבוה בהרבה מהצפוי בתאים אחרים, מאידך (איור 10א ו-10ב). סביר להניח שהגורמים הא-ביוטיים שנותחו כאן תרמו לתוצאה זו. בניגוד למה שציפינו, נוכחות צאן במפנה הצפוני הייתה נמוכה בצורה משמעותית מהצפוי (איור 10ג), תוצאה הדורשת מחקר נוסף. בפנות המערבית והמזרחית נמצאה נוכחות גדולה

מהמצופה במידה מסוימת, ובפנות הדרומית יש נוכחות של העדרים גדולה ביחס לצפוי, בשנת 2010 יותר מאשר בקודמתה.

מבחינת זווית השיפוע, הייתה סטייה מובהקת בין ההתפלגות הנצפה לבין ההתפלגות הצפויה (איור 10ד). ב-2009 העדר נוכח במידה רבה בשיפועים מתונים עד 10% ואילו ב-2010 בשיפועים בינוניים בין 5%-11%, בהם העדר ביקר יותר מהצפוי. בשתי השנים העדרים ביקרו בשיפועים התלולים בשיעור הרבה פחות משיעורים בשטח.

מבחינת מרחק מן המכלאה, בשתי השנים נראה העדפה של רעיה באזורים קרובים למכלאה והימנעות משטחי מרעה רחוקים (איור 10ה). נצפית נוכחות גבוהה ביחס לצפוי של העדר בשתי השנים עד מרחק 1200 מ'.

3 דיון

לגבי הייצור של צומח עשבוני, מספר שנים לאחר הקמת מערכות הניטור בלהים פרסמנו מאמר בעברית בעתון *אקולוגיה וסביבה* ובו סיכמנו את השנים הראשונות של נתוני ביומסה (אונגר, פרבולוצקי, יהונתן, ברקאי, חפץ, ברעם (1999) ייצור ראשוני של המרעה הטבעי בגבעות הנגב הצפוני. *אקולוגיה וסביבה* 5: 130-139). מצאנו אז תגובה לא-ליניארית בין ביומסה בשיא העונה לבין כמות הגשמים, והתאמנו פונקציות מיכאליס-מנטן. ראינו לנכון להמשיך את המעקב עוד שנים רבות, וגם הגורמים שמימנו את המשך העבודה הבינו בחשיבות של ניטור ארוך טווח, וכאשר סיכמנו כאן רצף הרבה יותר ארוך של שנים הגענו למסקנה שונה מאוד. לא מצאנו תגובת רוויה לכמות הגשם, אפילו בבית הגידול הדל ביותר – ראש הגבעה. בכל בתי הגידול התקבלה תגובה ליניארית לכמות הגשם, ואחוז גבוה של השונות הוסבר על ידי קו הרגרסיה. לכל הקווים היה חיתוך שלילי, שאומר שאין יכול כלל מתחת לכמות מסוימת של גשם, והסף הזה הוא בסביבות 80 מ"מ גשם. כתפי הוואדי מהווה בית גידול ייצורני מאוד לעומת האחרים והיבול בו יכול להגיע ל-450 גרם למטר רבוע בשנה גשומה. על סמך הניתוח שעשינו ב-1999, חשבנו שניתן לראות הצלבה של התגובות לגשם במפנה הצפוני ובמפנה הדרומי כך שבתנאים יבשים יחסית יש יתרון למפנה הצפוני (בגלל משטר קרינה פחות חזק), וכאשר המים פחות מגבילים יש יתרון למפנה הדרומי בעל משטר הקרינה החזק יותר. בניתוח הנוכחי לא מצאנו שום עדות להצלבה כזאת, ולהפתעתנו שני בתי הגידול האלה התנהגו בצורה מאוד דומה מבחינת התגובה לגשם. היצרנות בשני בתי הגידול האלה היא כחצי היצרנות בכתפי הוואדי. מבחינת כיסוי, הם מייצגים את רוב השטח.

רעיה השפיעה הרבה פחות על ביומסה בשיא העונה ממה שציפינו או על סמך ההתרשמות שלנו בשטח. אם אכן ה"פגיעה" בייצור היא כ-10%, יש בהחלט מקום לדון אם השטח מסוגל לשאת לחץ רעיה כבד יותר – בתנאי שממשיכים לנהוג בדחיית הרעיה בתחילת העונה הירוקה כפי שהיה נהוג בלהים. אם תוצאות אלה תחזרו על עצמן לאחר בדיקות נוספות שנערך, נקיים דיון אצל מקבלי החלטות בכל הנוגע ללחצי רעיה מומלצים באזור.

לגבי הכיסוי של הצומח המעוצה, כתפי הוואדי הינו בית הגידול הפרודוקטיבי ביותר עבור העשבוניים, אולם כיסוי השיחים בו היה נמוך ביותר עבור כל המינים המעוצים. יכול להיות שהסיבה לכך קשורה לעיבודים חקלאיים שהיו נפוצים בעבר באזור. המפנה הצפוני היה בעל הכיסוי המעוצה הכללי הגבוה ביותר. ברמה של המין, סירה קוצנית ונאית קוצנית הראו כיסוי גבוה יותר במפנה הצפוני. בתי הגידול שהראו את הכיסוי הגבוה ביותר עבור מתן שער היו ראש גבעה ומפנה דרומי.

כצפוי, לרעייה הייתה השפעה שונה על מינים שונים. נאית קוצנית הושפעה מאוד: ללא רעייה אחוז הכיסוי שלה גדל (עלייה מ-2% ל-4% בממוצע). סירה קוצנית הושפעה גם היא: ללא רעייה אחוז הכיסוי שלה גדול ב-20% לעומת תחת רעייה (עלייה מ-10% ל-12%). קורנית מקורקפת ומתן שער לא הושפעו מהרעייה באופן כללי. עבור סירה קוצנית היו השפעות גומלין מובהקות בין הרעייה לבין בית הגידול. בניגוד לשאר בתי הגידול בהם הרעייה הקטינה את הכיסוי, בראש הגבעה כיסוי הסירה הקוצנית תחת רעייה אינו שונה באופן מובהק. גם עבור הכיסוי המעוצה הכללי היו השפעות גומלין מובהקות בין הרעייה לבין בית גידול. בראש גבעה, בניגוד לשאר בתי הגידול, השפעת הרעייה איננה מובהקת. לא ברור מהן הסיבות לכך. ניתן לשער שאולי הגורמים לכך הם אחוז גבוה יחסית של שיחי מתן שער, קשיים טופוגרפיים ופרודוקטיביות נמוכה. באופן כללי ניתן לומר שהפסקת הרעייה מגדילה את הכיסוי הכללי של השיחים. כבר מהשנה השנייה לניסוי ישנו הפרש מובהק בין כיסוי השיחים, עם ובלי רעייה. ההפרש נמשך לאורך כל השנים ועומד בממוצע רב שנתי על קרוב ל-25% בחלקות ללא רעייה בהשוואה לחלקות אשר תחת רעייה (עלייה מ-17% ל-21%). ההבדל בכיסוי השיחים בעקבות הרעייה יכול להיווצר בעקבות אכילה, רמיסה, השקעת יתר בהתגוננות, או שילוב של המנגנונים הללו.

למרות השוני הגדול בכיסוי השיחים (כל המינים) בין השנים והשוני הגדול במשקעים בין השנים, לא נמצא קשר ליניארי בין כמות המשקעים השנתית לבין הכיסוי והשינוי שלו לאורך השנים. אחת הסיבות לכך הינה שכמות המשקעים היא רק אחד מגורמים סביבתיים רבים כגון עוצמת הגשמים, העיתוי שלהם, עוצמת הקרינה, הטמפרטורה ועוד גורמים אחרים אשר יכולים להשפיע על כיסוי השיחים. הבצורת היא אכן גורם חשוב בדינאמיקה של הצומח המעוצה. מבין חמשת המצבים התיאורטיים שתוארו, ארבעה אכן התרחשו בפועל: חוסר השפעה, עידוד, התאוששות (חלקית ומלאה) ושינוי מצב שלילי. לא התרחש שינוי מצב חיובי. התרחשות של מצבים שונים תלויה בשני גורמים עיקריים: א. מין השיח – ישנם דפוסי התנהגות שחוזרים על עצמם בבתי גידול שונים בהתאם למין השיח. ב. בית הגידול – בתי הגידול מראים דפוסי התנהגות בהתאם לכמות הנגר שהם מקבלים.

אלמנט חשוב בהבנת השפעת הבצורת הוא שהירידה בכיסוי המעוצה הכללי (וגם ברוב המינים) נמשכת גם בשנים שלאחר הבצורת למרות שהיו גשומות מהממוצע, ולכן לא נמצא קשר ליניארי בין המשקעים לשינוי בכיסוי השיחים. זוהי ההוכחה לחשיבות של בצורות כגורם מניע במערכת האקולוגית באזור. השפעת הבצורת נמשכת גם לאחר שהבצורת הסתיימו. התופעה הזו מוסברת באמצעות ההיפותזה שלאחר עקה חמורה עצים יכולים להמשיך לדעוך במשך שנים לפני המוות

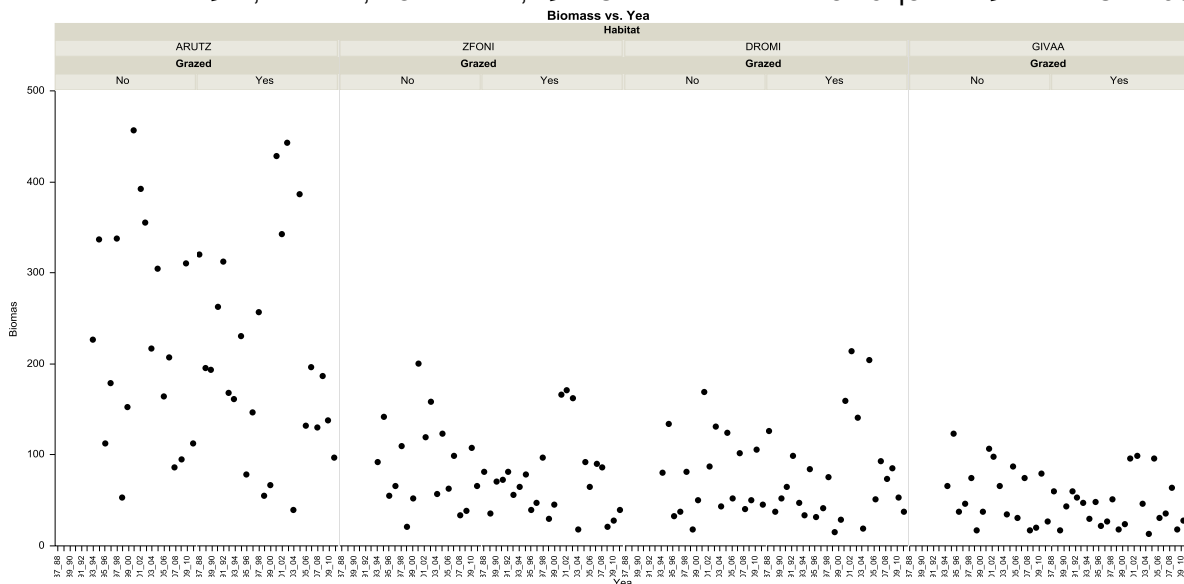
שלהם. הסיבה לדעיכה יכולה להיות פיזיולוגית (למשל, פגיעה בצינורות ההובלה), או חיצונית (רגישות גדולה יותר למזיקים). ההיפותזה הזו קיבלה אישוש אמפירי במחקרים על תמותה של עצי אלון נוטופגוס ואורן.

תוצאות המחקר מראות שאכן הרעייה, בית הגידול והבצורות הם גורמים אשר משפיעים על הדינאמיקה של הכיסוי המעוצה לאורך הזמן. לבית הגידול יש השפעות גומלין עם הרעייה והשנים ולכן גם השפעתו היא דינאמית לאורך הזמן. למרות ההשפעה של הבצורות והרעייה, ניתן לומר שהמערכת מראה יכולת התאוששות גבוהה (resilience). כנראה הסיבה העיקרית לכך היא שהמערכת נשלטת על ידי הסירה הקוצנית שהיא עמידה להפרעות. ברם שינויי האקלים הצפויים להתרחש באזור, שעל פי המודלים יגרמו להקטנת כמות המשקעים ולהגדלה של תכיפות הבצורות, עלולים לגרום לתמותה וקריסה של השיחים ללא התאוששות כמו שקרה בכתפי הוואדי.

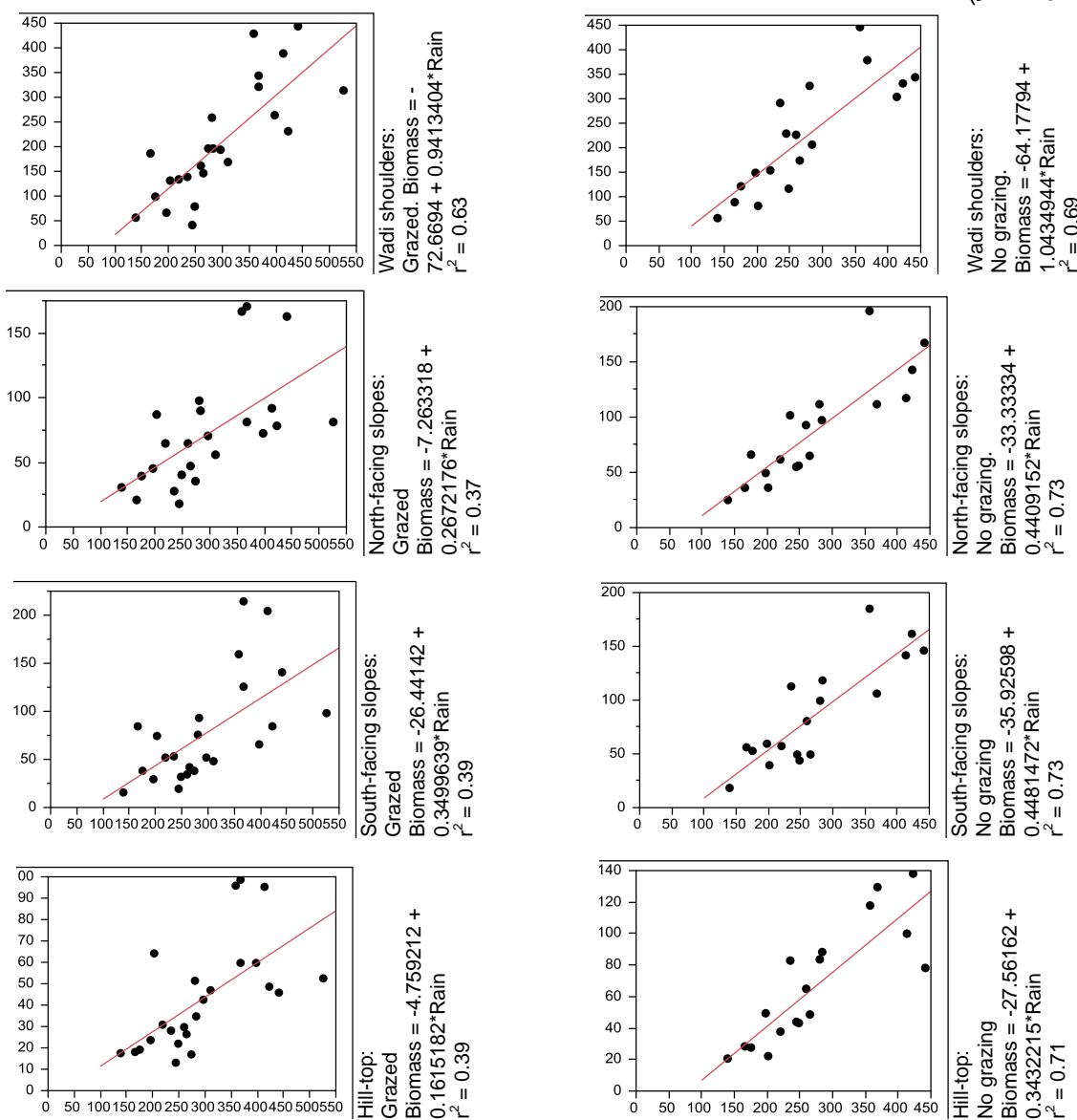
לגבי התאוששות הצומח המעוצה לאחר הכריתה, המין החשוב ביותר הוא סירה קוצנית, כפי שראינו במערך של ניטור ארוך טווח. רעיה ללא כריתה לא השפיעה באופן משמעותי על הכיסוי של הסירה במסגרת הניסוי הפקטוריאלי, וזו תוצאה עקבית עם התוצאות ממערך הניטור. שלושה מחזורי כריתה עוקבים לא הצליחו להרוג אחוז ניכר מכתמי הסירה. חשבנו שאולי אחרי כריתה הרעיה תצליח לבלום את ההתאוששות של כיסוי הסירה, כי ההתחדשות תהיה מורכבת מגבעולים יחסית דקים ורכים וקלים לרעיה, אבל בפועל הסירה הצליחה להתאושש באותה מידה עם ובלי רעיה. קצב העלייה בכיסוי בחלקות הכרותות הוא כ-1.5 נקודות האחוז לשנה, כך שאחרי תקופה של 10 עד 15 שנה, המצב צפוי לחזור לקדמותו. מעניין שעיקר ההתאוששות נובע מגדילה של כתמים קיימים ולא מהתבססות של כתמים חדשים. ייתכן מאוד שזה קשור לזמינות של מיקרו-אתרים מתאימים להתבססות. יש גם סימנים שמספר הכתמים יציב יותר בחלקות הכרותות לעומת הלא-כרותות, דבר שמעיד אולי על עמידות גבוהה יותר לתנאי סביבה קשים, אבל ההשערה הזאת מחכה לניתוח סטטיסטי מעמיק.

לגבי ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן, שילוב טכנולוגיות GPS וממ"ג אפשר תיאור מדויק בזמן ובמרחב וכן הבנה של דגמים ודפוסי פיזור של העדרים בחוות בודדים באזור חצי צחיח. שיטות אלו אפשרו לנו לייחס דפוסי מרעה לתנאים סביבתיים שיפוע המדרון, פנות והמרחק מן המכלאה. מהניתוחים נראה כי העדרים הגיבו לתנאי הסביבה על ידי שינוי מהירות תנועתם. מפות מיקום העדר מספקות מידע חיוני וכמותי הנחוץ בתהליכי קבלת החלטות לתכנון ממשק רעיה וניצול יעיל של שטח החווה. ניתן לראות שהרעיה בשטח החווה איננה אחידה וישנה הטרוגניות רבה בשימוש במרחב: בעוד אזורים מסוימים נמצאים תחת משטר ביקורים רב ביותר, באחרים המספר נמוך מאוד אם בכלל קיים.

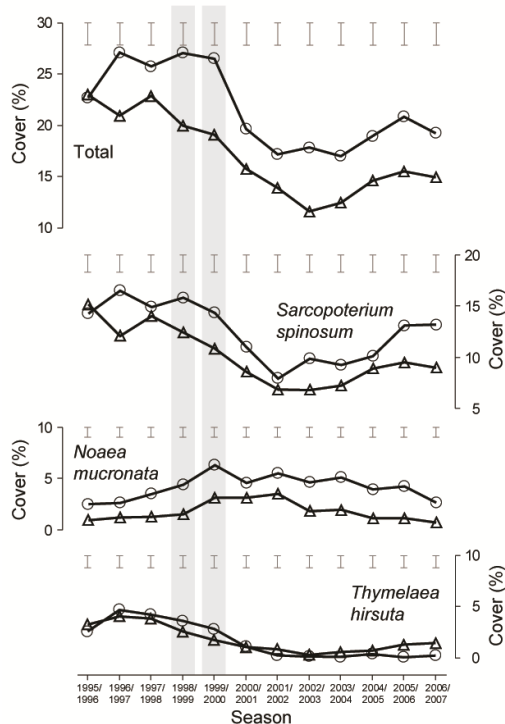
איור 1. ערכי ביומסה בשיא העונה (גרם למטר רבוע) כפי שנמדד במערך ניטור ארוך טווח בלהבים במשך 24 שנה בשטחים פתוחים לרעה ובמשך 18 שנה בגדרות מוגנות מפני רעה, בהתאם לשנה, בית גידול, ורעה.



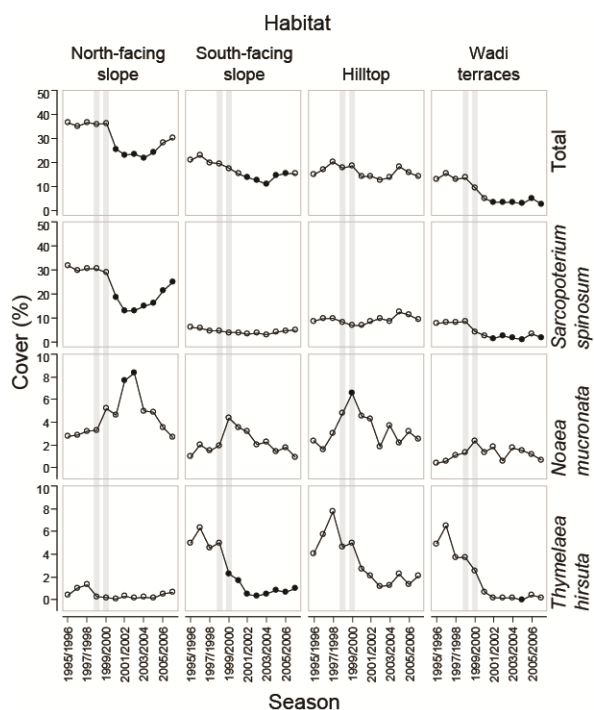
איור 2. הקשר בין ביומסה לגשם בלהבים לפי בית גידול ורעה. ציר X: גשם שנתי (מ"מ). ציר Y: ביומסה בשיא העונה (ג' למטר רבוע)



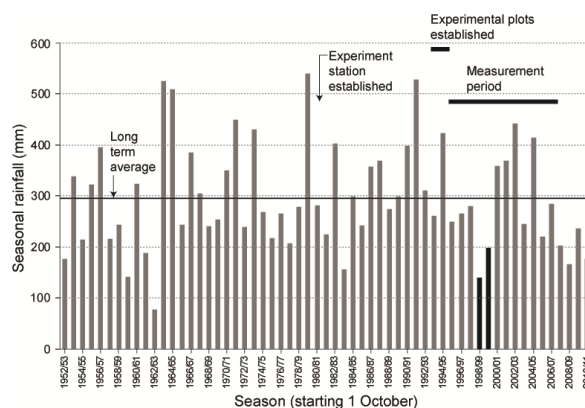
איור 4. הכיסוי של צומח מעוצה (כולל קורנית), סירה, נואית, ומתנן במהלך 12 שנה, בתוך גדרות מוגנות מפני רעיה (עיגולים) ובאזורים סמוכים פתוחים לרעיה (משולשים). שנות הבצורת מסומנות כעמודים אפורים.



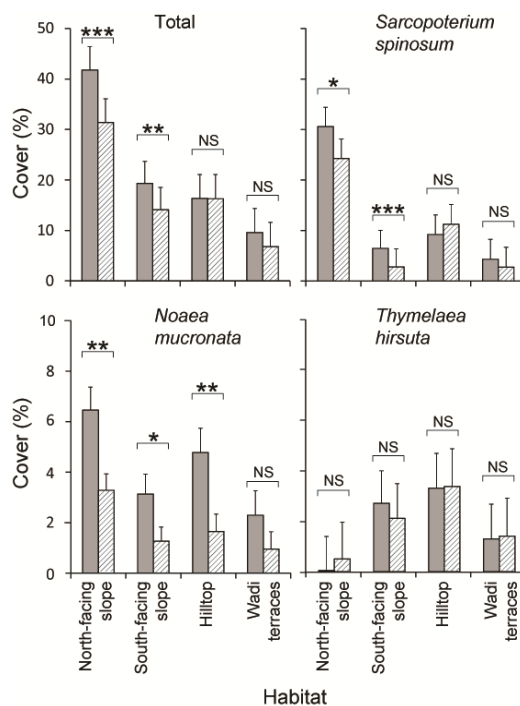
איור 6. הכיסוי במהלך 12 שנה של צומח מעוצה (כולל קורנית), סירה, נואית, ומתנן בארבעה בתי גידול. הערכים הם ממוצעים מחושים על פני אתרים וחלקות (עם ובלי רעיה). שנות הבצורת מסומנות כעמודים אפורים. עיגולים מלאים מסמנים שהכיסוי שונה באופן מובהק מממוצע הכיסוי של שלושת השנים הראשונות (לפני הבצורת) לפי מבחן Dunnett.



איור 3. גשם שנתי (על בסיס 1 באוקטובר עד 30 בספטמבר) שנרשם בתחנה המטאורולוגית בלהב (כ-4 ק"מ מאתר המחקר) עבור התקופה 1952/53 עד 2010/11. שתי שנות הבצורת העוקבות מסומנות בשחור.

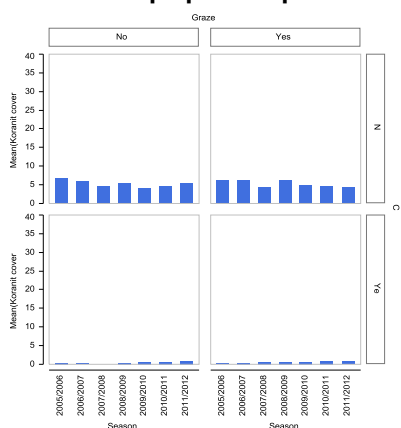


איור 5. הכיסוי של צומח מעוצה (כולל קורנית), סירה, נואית, ומתנן בארבעה בתי גידול, בתוך גדרות מוגנות מפני רעיה (מלא) ובאזורים סמוכים פתוחים לרעיה (קווים). הערכים הם ממוצעים מחושים על פני כל העונות, אתרים וחלקות. המבחן הסטטיסטי הוא לגבי השפעת הרעיה בתוך בית גידול.

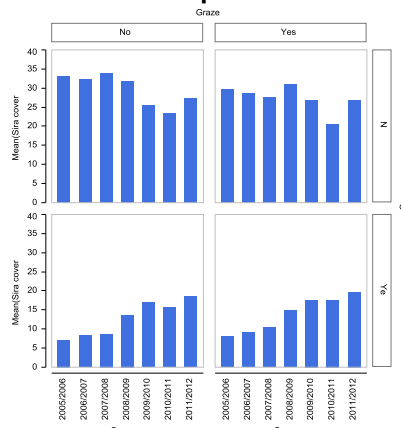


איור 7. תגובת הצומח המעוצה לכריתה ורעה בניסוי פקטוריאלי בלהבים:

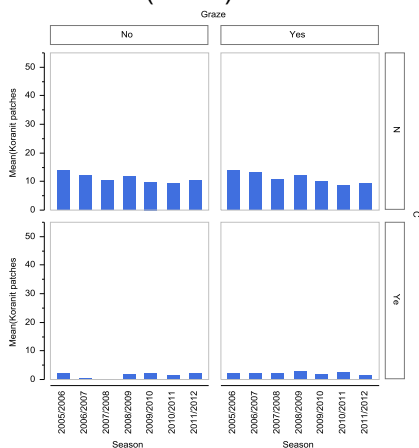
קורנית מקורקפת



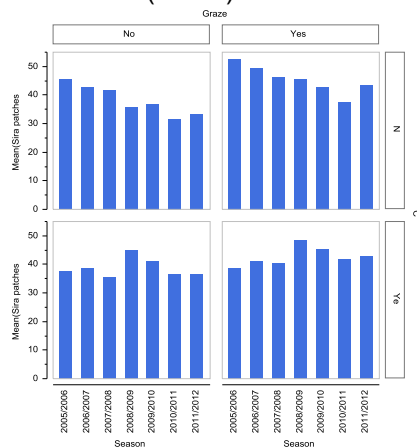
סירה קוצנית



כיסוי (אחוזים)

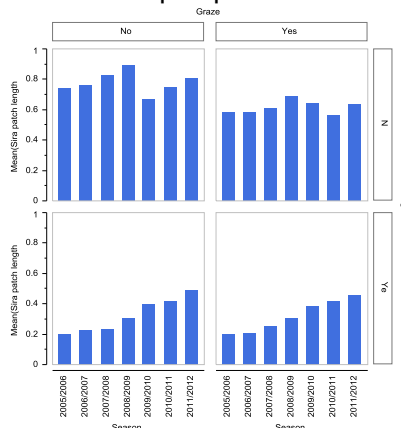
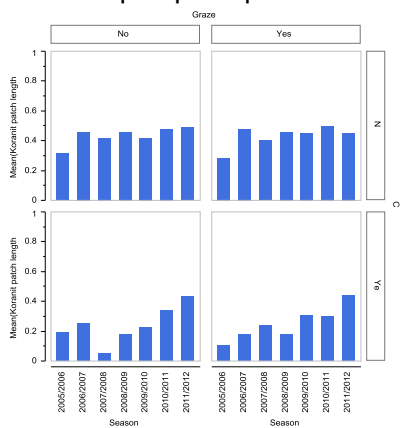


כיסוי (אחוזים)



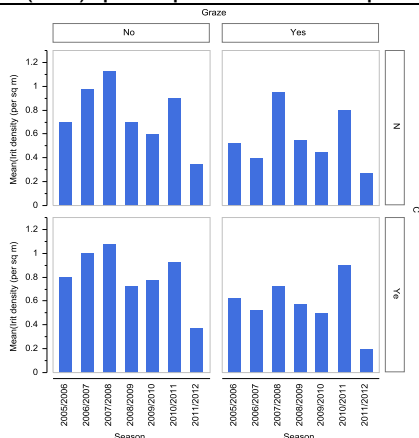
מספר כתמים לאורך החתך חתך של כ-100 מ'

מספר כתמים לאורך חתך של כ-100 מ'



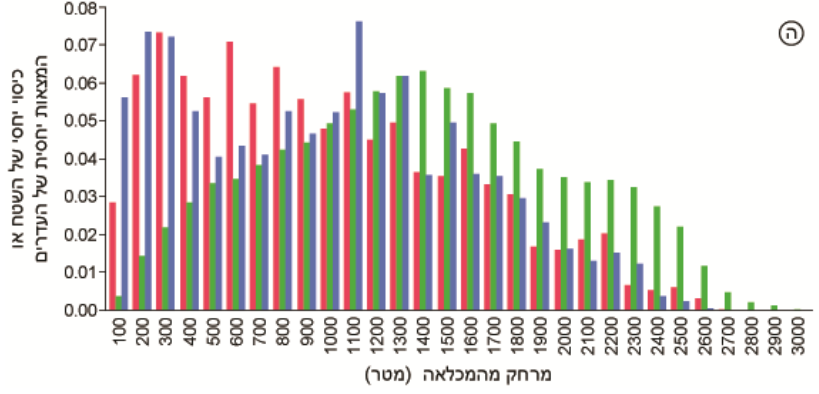
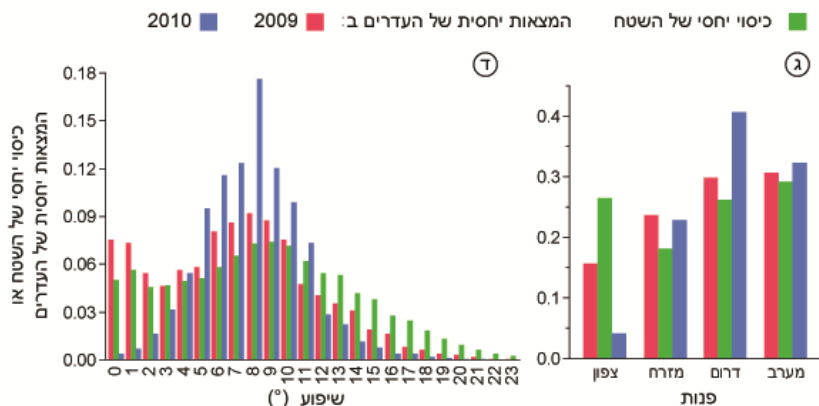
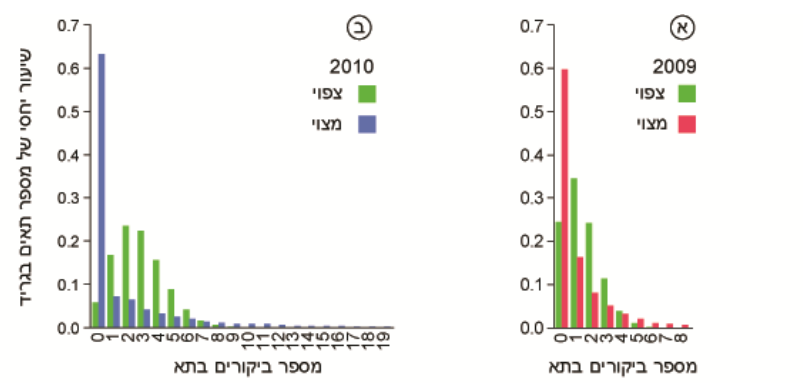
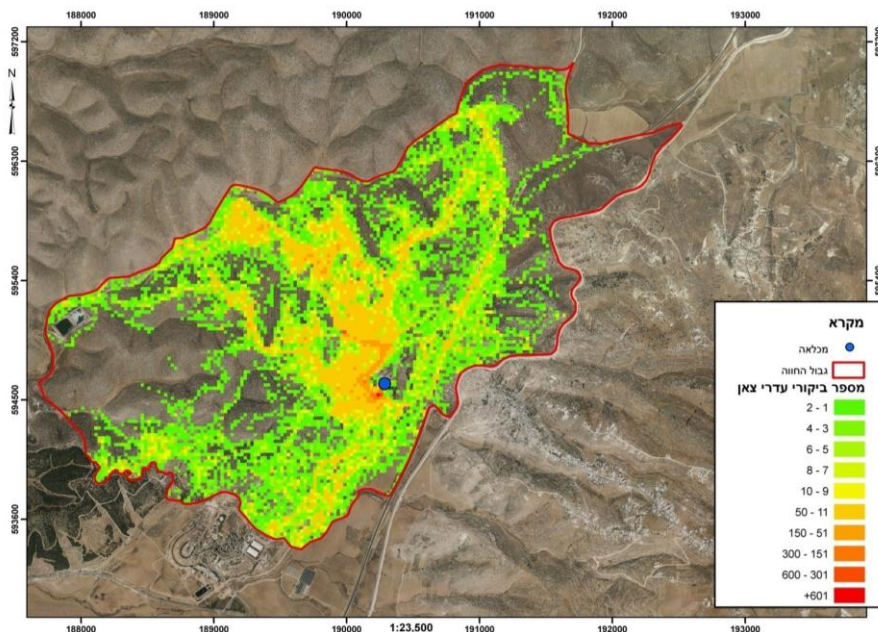
אורך כתם ממוצע לאורך החתך (מטר)

אורך כתם ממוצע לאורך החתך (מטר)



איור 8. מספר כתימי עירית גדולה (כתמים למטר רבוע)

איור 9. מספר ביקורים מצטבר של העדרים בתאי שטח החווה, כפי שנקבע ממעקב אחר שני עדרי צאן במהלך השנים 2009-2010 באמצעות GPS.



איור 10. השוואה בין נוכחות העדרים הצפוייה לזו הנצפית בשטח החווה. א-ב: הצפוי הוא הפיזור האקראי בין תאי הגריד (התפלגות פאוסונית-שצורתה תלויה בגודל המדגם). ההתפלגויות נחתכו בנוכחות ניצפת מצטברת של 97%. ג: הצפוי הוא בהתאם לכיסוי היחסי של פנות התאים בגריד. ד: הצפוי הוא בהתאם לכיסוי היחסי של שיפוע התאים בגריד. ערכים מעל שיפוע של 23° זניחים ואינם מופיעים. ה: הצפוי הוא בהתאם למרחק מהמכלאה של תאי הגריד.

5 פרסומים מדעיים

מאמרים שעברו ביקורת מדעית:

- Ungar, E.D., Stavi, I., Lavee, H. and Sarah, P. (2010) Effects of livestock traffic on rock fragment movement on hillsides in a semiarid patchy rangeland. *Land Degradation & Development* **21**:92–99.
- Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2010) Variability of soil aggregation in a hilly semi-arid rangeland. *Journal of Arid Environments* **74**:946–953.
- Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2011) Soil aggregate fraction 1-5 mm: An indicator for soil quality in rangelands. *Journal of Arid Environments* **75**:1050–1055.
- Arnon, A., Svoray, T. and Ungar, E.D. (2011) The spatial dimension of pastoral herding: a case study from the northern Negev. *Israel Journal of Ecology & Evolution* **57**:129–149.
- Stavi, I., Lavee, H., Ungar, E.D. and Sarah, P. (2012) Grazing-induced modification of a semi-arid rangeland from a two-phase to a three-phase mosaic geo-ecosystem. *Arid Land Research and Management* **26**:79–83.
- Segoli, M., Ungar, E.D., Shachak, M. (2012) Fine-scale spatial heterogeneity of resource modulation in semi-arid 'islands of fertility'. *Arid Land Research and Management* **26**:344–354.
- Segoli, M., Ungar, E.D., Giladi, I., Arnon, A., Shachak, M. (2012) Untangling the positive and negative effects of shrubs on herbaceous vegetation in drylands. *Landscape Ecology* **27**:899–910.
- Giladi, I., Segoli, M., Ungar, E.D. (2013) Shrubs and herbaceous seed flow in a semiarid landscape: dual functioning of shrubs as trap and barrier. *Journal of Ecology* **101**:97–106.

זהבי, מ., אונגר, י.ד., סבוראי, ט. (2012) אחידות השימוש במרחב ע"י עדרי צאן בחוות בוודים. אקולוגיה וסביבה 13(1), 78–83.

דה מלאך, נ., אונגר, י.ד., פוט, ה., יונתן, ר., ברקאי, ד., בן משה, ע., ברעם, ח., קיגל, ח. (2012) רעייה ובצורת בספר המדבר - מגמות ארוכות טווח בכיסוי הצומח המעוצה. אקולוגיה וסביבה 13(2), 166–173.

כנסים:

- Ungar, E.D. (2010) Management challenges of animal production on semiarid and Mediterranean rangelands. p. 96 in Book of Abstracts of the 61st Annual Meeting of the European Association for Animal Production. August 23rd - 27th, 2010, Heraklion, Greece.
- de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2011) Shrubs subjected to grazing and drought - resilience or collapse? Long-term trends in the cover of woody vegetation in a semiarid region. p. 159 in Proceedings 39th Annual Conference of the Israel Society of Ecology and Environmental Sciences, June 27-28, 2011, Megiddo Regional Council.
- de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2012) The response of shrubs to grazing and drought – resilience or collapse? Long-term trends in a semiarid region. p. 18–19 in Proceedings 20th Conference of the Israel Rangeland Science Society, March 26, 2012. (Hebrew).

6 תודתנו לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות, הנהלת ענף מרעה וקרן קיימת לישראל שמימנו את המחקר.

7 סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה. חסר ידע אמפירי לגבי הייצור של הצומח העשבוני, הכיסוי של הצומח המעוצה, וההיבט המרחבי של ניצול שטחי מרעה על ידי עדרי צאן בנגב הצפוני. מטרות המחקר הן: לכמת את הייצור הראשוני של הצומח העשבוני ואת תגובתו למשטר הגשמים, בית גידול ורעיה, ולסכם מערך ניטור ארוך טווח. לכמת את הכיסוי של הצומח המעוצה ואת תגובתו לבית גידול, רעיה ואירועי בצורת, ולסכם מערך ניטור ארוך טווח. לבחון את תגובת הצומח מעוצה לרעיה וכריתה במסגרת ניסוי מבוקר. לחקור את ההיבט המרחבי של ניצול השטח על ידי עדרי צאן.

עיקרי הניסויים והתוצאות. הבימוסה של הצומח העשבוני, וכן הכיסוי של הצומח המעוצה, נמדדו בבתי גידול שונים, בשטח הפתוח לרעיה ובתוך גדורות. הכיסוי של הצומח המעוצה נמדד גם בחלקות ניסוי שעברו טיפולים של כריתת הצומח המעוצה (כן או לא) ורעיית צאן (כן או לא). תנועת עדרים בשטחי מרעה נקבע על ידי מכשירי GPS מיוחדים. הייצור הראשוני של הצומח העשבוני בשיא העונה הירוקה מגיב בצורה חזקה וליניארית לכמות הגשם השנתית, והיא תלויה מאוד בטיב בית הגידול. ללא רעיה, ממוצע היבול הרב-שנתי הוא: 222, 88, 87, ו-67 ק"ג לדונם בכתפי וואדי, מפנה צפוני, מפנה דרומי, וראש גבעה, בהתאמה. לרעיה הייתה השפעה קטנה על הבימוסה בשיא העונה. הרעיה השפיעה במידה קטנה על הכיסוי של הצומח המעוצה לאורך 12 שנה, אבל הייתה תגובה חזקה לבצורת, בעיקר ירידה בכיסוי של סירה קוצנית. לאחר הכריתה, הכיסוי של סירה קוצנית התאושש בקצב של כ-1.5 נקודות האחוז לשנה, ולא הושפע מרעיה. אופן השימוש במרחב על ידי עדרי צאן היה מאוד לא אחיד, ותלוי בין היתר בפנות, שיפוע ומרחק מהמכלאות.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכן. ייתכן מאוד שניתן להגדיל את שיעור האכלוס של בעלי חיים באזור צפון הנגב מעל 0.1 ראש לדונם כפי שהיה נהוג בחוות להבים. לרעיה יש השפעה קטנה על הכיסוי של הצומח המעוצה, גם לאחר כריתתו. בצורת היא כנראה מנגנון חשוב לוויסות הכיסוי של סירה קוצנית, וכן הזמינות של מיקרו-אתרים להתבססות. חוסר אחידות בשימוש במרחב על ידי עדרים עלול לגרום לדגרדציה וניתן לשפר את זה על ידי שילוב של מודעות וניטור באמצעות כלים טכנולוגיים מתאימים.

בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה. אין. הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח. התפרסמו שני מאמרים בעברית ושמונה מאמרים באנגלית בעיתונות הבינלאומית. ניתנו שלוש הרצאות בכנסים בארץ והרצאה אחת בכנס בינלאומי.

פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)