

דוח מסכם לתכנית מחקר מספר 277-0097-09

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

ע"י

המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	דוד אונגר
המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	אבי פרבולוצקי
המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת בן-גוריון	טל סבוראי
המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	רפי יהונתן
המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	דני ברקאי
המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	חגית ברעם
המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	עזרא בן-משה
המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי	אמיר ארנון

Eugene David Ungar, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center. E-mail: eugene@volcani.agri.gov.il

Avi Perevolotsky, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center. E-mail: avi@volcani.agri.gov.il

Tal Svorai, Department of Geography, Ben-Gurion University. E-mail: tsvoray@bgumail.bgu.ac.il

Rafi Yonatan, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center. E-mail: hagit@volcani.agri.gov.il

Dani Barkai, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center. E-mail: vcbarkai@volcani.agri.gov.il

Hagit Baram, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center. E-mail: hagit@volcani.agri.gov.il

Ezra Ben-Moshe, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center. E-mail: ezrabm@volcani.agri.gov.il

Amir Arnon, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center. E-mail: amirarnon@gmail.com

אוקטובר 2010

חשוון תשע"א

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר:

רשימת פרסומים:

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.

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. (2009) Livestock modify ground surface microtopography and penetrability in a semiarid shrubland. *Arid Land Research and Management* 23:237–247.

Stavi, I., Lavee, H., Ungar, E.D. and Sarah, P. (2009) Ecogeomorphic feedbacks in semiarid rangelands: A review. *Pedosphere* 19:217–229.

Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2008) Surface microtopography and soil penetration resistance associated with shrub patches in a semiarid rangeland. *Geomorphology* 94: 69–78.

Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2008) Grazing-induced spatial variability of soil bulk density and content of moisture, organic carbon and calcium carbonate in a semi-arid rangeland. *Catena* 75:288–296.

Segoli, M., Ungar, E.D. and Shachak, M. (2008) Shrubs enhance resilience of a semiarid ecosystem by engineering and regrowth. *Ecohydrology* 1:330–339.

Arnon, A.I., Ungar, E.D., Svoray, T., Shachak, M., Blankman, J. and Perevolotsky, A. (2007) The application of remote sensing to study shrub–herbaceous relations at a high spatial resolution. *Israel Journal of Plant Sciences* 55: 73–82.

Giladi, I., Segoli, M. and Ungar, E.D. (2007) The effect of shrubs on the seed rain of annuals in a semiarid landscape. *Israel Journal of Plant Sciences* 55: 83–92.

תוכן עניינים

3	תקציר
4	מבוא
4	אתר המחקר
4	צומח מעוצה ומבנה נוף כתמי
4	כתמיות בתכונות קרקע פסיקאליות
4	תופעת העטרות
5	השפעת כריתה ורעיה על תכונות קרקע
5	השפעת כריתה ורעיה על הייצור הראשוני
5	ניטור ארוך-טווח של הייצור הראשוני
5	התנהגות רעיה
5	פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו
5	ניסוי 1: כתמיות בתכונות קרקע בארבעה סוגי כתם
6	ניסוי 2: כתמיות בתכונות קרקע פסיקאליות
7	ניסוי 3: תופעת העטרות
7	ניסוי 4: השפעת כריתה ורעיה על תכונות קרקע
8	ניסוי 5: השפעת כריתה ורעיה על הייצור הראשוני
9	ניסוי 6: ניטור ארוך טווח של הייצור הראשוני
10	ניסוי 7: התנהגות רעיה
10	דיון
11	פרסומים מדעיים
11	תודות למממנים
12	טבלאות
15	איורים
18	סיכום עם שאלות מנחות

תקציר

הצגת הבעיה: שאלות פתוחות רבות לגבי תפקוד המערכת האקולוגית של שטחי המרעה באזור הצחיח-למחצה מקשות על קביעת מדיניות ברורה לגבי ממשק רעיה בכלל וההתמודדות מול הצומח המעוצה בפרט. **מטרות המחקר:** לחקור סוגיות שונות בתפקוד המערכת האקולוגית שרלוונטיות לשאלות ממשקיות בשטח מרעה צחיח-למחצה בצפון הנגב. רוב הסוגיות קשורות ליחסי הגומלין בין הצומח העשבוני, הצומח המעוצה ורעיה. **שיטות העבודה:** בוצעה סידרה של ניסויים אמפיריים. [נ1] נבחנה השפעת הרעיה על תכונות קרקע של מרכיבי נוף שונים. [נ2] נמדדה הפרופיל המיקרו-טופוגרפיה של פני הקרקע באזור כתמי שיח. [נ3] בעזרת תצלומי אוויר מיוחדים, בדקנו קיומן של עטרות עשבוניות סביב לכתמי שיחים, וביצענו 4 טיפולים כדי להבין את התופעה. [נ4] נבדק הקשר בין סוג כתם (סגור/פתוח) וטיפול ממשקי (כריתה, רעיה) על 13 תכונות קרקע. [נ5] נבדקה השפעת סוג הכתם וטיפול ממשקי על הכיסוי היחסי של מרכיבי נוף, צפיפות הנביטה העשבונית, והביומסה העשבונית. [נ6] סוכמו 1373 כיולים שנאספו בלהבים במשך 22 שנה שמשמשים לקביעת הביומסה העשבונית. [נ7] נעשו תצפיות התנהגות רעיה של צאן. **תוצאות עיקריות:** [נ1] לכתמי השיח הייתה תכולת המים ותכולת חומר האורגני הגבוהים ביותר, ומשקל הנפחי ותכולת סידן פחמתי הנמוכים ביותר. תכונות הקרקע של שבילי ההליכה היו בקיצון השני של הסקאלה. היו אינטראקציות מובהקות בין הרעיה לבין סוג הכתם. [נ2] השיח גורם לפרופיל מורכב בעל השלכות חשובות לתנועת מים ומשאבים אחרים במרחב ויציבות המערכת. הרעיה מחזקת את הפרופיל הזה על ידי יצירת רשת של שבילי הליכה. [נ3] עטרה של צומח עשבוני מתפתחת באופן עקבי סביב השיחים, והביומסה בה גבוהה ב-30% מזו במרחקים גדולים יותר מהשיח. עטרות מכסות למעלה מ-20% מהנוף. עטרות נוצרו בחלקות שהיו מוגנות מרעייה, ובחלקות בהן נכרתו השיחים. כבשים הגיבו לקיום העטרה ורעו באזור זה זמן רב מהצפוי. [נ4] השפעות מובהקות על תכונות קרקע נבעו, בדרך כלל, מהבדלים בין שני סוגי הכתם. הכריתה השפיעה בצורה מובהקת על מעט משתנים, ולרעייה כמעט ולא היו השפעות מובהקות. תכולת החומר האורגני בקרקע הינה מדד מרכזי בהבנת מכלול התוצאות. [נ5] לא הייתה השפעה ברורה של טיפול הרעיה על מרכיבי הכיסוי. חברת הצומח העשבוני שמתפתח מתחת לחופת הצומח המעוצה הרבה יותר חשובה ממה שחשבנו עד כה. [נ6] הפעלת רגרסיה ליניארית פשוטה על כל הכיולים היא גישה גסה מדי. כיולים רבים דורשים פונקציות לא ליניאריות, ויש צורך להתאים משוואה מתאימה לכל כיול. בעבודה זו רוב רובם של הכיולים כוסו על ידי 11 צורות פונקציונאליות. [נ7] חלק ניכר מהזמן שבעל החיים מבלה לאורך מסלול "הרעיה" שלו מוקדש לפעילויות ללא צריכת צומח, ורק כ-60% מהזמן מוקדש לצריכה. דגם הפעילות של הפרט מאופיין על ידי ערבוביה דקה למדי של פעילויות. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** לצומח המעוצה תפקיד מרכזי במערכת האקולוגית. ייתכן מאוד שהשיחים שומרים על המערכת מפני דגרדציה (אובדן מים, קרקע ומשאבים אחרים) בסקאלה של המדרון. אין להניח שהסרת השיחים יביא לשיפור ביצרנות המערכת מבחינת צומח עשבוני בטווח הארוך. העטרה חשובה להבנת המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית של ספר המדבר, ומחייבת התחשבות מיוחדת בכל פעולת ממשק.

דו"ח המחקר

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, שכל הנראה יישאר כשטח פתוח לטווח הארוך. 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 והחצי-שנתיים של כל שנות המחקר.

אתר 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), וצמחיה 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.

צומח מעוצה ומבנה נוף כתמי: הצמחייה מסודרת ככתמים של צומח מעוצה הפזורים בשטח פתוח, שמכוסה ברובו צומח ירוד, יוצר קרומי-קרקע ביולוגיים. לסידור הכתמי יש השפעה מכרעת על טבעם וקצבם של תהליכים א-ביוטיים וביוטיים, בעקבות יחסי מקור-מבלע של חומרים כמו מים, קרקע, חומר אורגני, נוטריינטים וזרעים, שעוברים חלוקה מחדש והסעה מהשטח הפתוח, ומתרכזים בכתמים המעוצים. יחסי מעוצים-עשבוניים מחד, וכתמיות הצומח במערכות מוגבלות מים מאידך, זכו לתשומת לב רבה בשנים האחרונות. בחנו האם יש קשר בין לחות ותכונות הקרקע אחרות לבין כתמיות הצומח ומרכיבי פני השטח הא-ביוטיים, והשפעת רעיית צאן על קשר זה.

כתמיות בתכונות קרקע פיסיקאליות: החלוקה המרחבית של מים על-פני המדרונות מושפעת מהחתך המיקרוטופוגרפי ומתכונות הקרקע, המשפיעים על חדירת המים לתוכה. הטרוגניות מרחבית של השקעת החלקיקים וחלקי צמחים גורמת להיווצרות שינויים במיקרוטופוגרפיה ובתכונות הקרקע. נוכחות שיחים משפיעה על תהליכים אלו כך שעשוי להיווצר חתך דמוי-מדרגות על-פני המדרונות. בחנו האם לסירה קוצנית יש השפעה כזו, והאם יש דגם מקביל של התנגדות הקרקע לפנטרציה. גם לרעיה צפויה להיות השפעה על החתך המיקרוטופוגרפי ודגם התנגדות הקרקע לפנטרציה.

תופעת העטרות: התרשמונו שהביומסה העשבונית גדולה יותר סביב השיחים של סירה קיצונית, ויוצרת מעין טבעות (עטרות). לעטרה עשויה להיות חשיבות לתפקוד המערכת כולה. בעקבות כך, עשויות להיות לתופעה השלכות ממשקיות לשמירת טבע ולהשבחת מרעה. בדקנו האם העטרה קיימת וניתנת לאפיון כמותי מבחינת הביומסה והשטח שהיא מכסה סביב השיח הבודד ובנוף כולו. בדקנו שתי השערות ליצירת העטרה: א. עוצמת הרעייה שונה בין הכתמים, ב. תנאי גידול שונים בין הכתמים. תכננו ניסוי המבוסס על שילובים של הגנה על השיח וסביבתו מפני רעייה, ושל כריתתו.

השפעת כריתה ורעיה על תכונות קרקע: עסקנו באפיון התנאים האביוטיים השוררים בשני סוגי הכתם של נוף דו-כתמי, ואת תגובתם לטיפולים ממשקיים. היפותזה יסודית היא שלצומח המעוצה השפעה מכרעת על התפתחות מבנה הנוף. מאמץ רב הושקע בשנים האחרונות בהבנת השפעת גורמי ממשק בסיסיים – רעיה וכריתה – על תפקוד המערכת. סביר להניח שההבדל בין שני סוגי הכתם נובעים משוני בתנאים המקומיים שנוצרים על ידי נוכחות הכתם המעוצה; כלומר, קונטרסט אביוטי גורם לקונטרסט ביוטי. המטרה הייתה לאפיין את תנאי הקרקע בשני סוגי כתם – מעוצה ועשבוני - כדי לקשור בין הבדלים אביוטיים בסקאלות השונות, ובין הבדלים ביוטיים, כפי שהם באים לידי ביטוי בקשרים שבין המרעה והמבנה הנופי של המערכת האקולוגית.

השפעת כריתה ורעיה על הייצור הראשוני: בדקנו את השפעת כריתה של צומח מעוצה ורעיה על מדדים שונים בעלי חשיבות לנוף כשטח מרעה. 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 וקרקע, ושומר על רמה כללית גבוהה יותר של תפקוד המערכת האקולוגית כולה? המטרה הייתה לאמוד את כמות הצומח העשבוני ליחידת שטח, בהתאם לטיפול הממשקי (רעיה; כריתה), ולסוג הכתם (שיח מול בין-שיחי).

ניטור ארוך-טווח של הייצור הראשוני: הייצור הראשוני של הצומח העשבוני הוא מרכזי ביותר במערכת האקולוגית של להבים ובמערכת גידול בעלי-חיים במרעה. הניטור של ייצור הראשוני מהווה את עמוד השדרה של מערכת איסוף הנתונים בלהבים. המתודולוגיה מתבססת על שיטת האומדן הכפול, שתלוי במידה רבה באיכות הכיול. אספנו יחד את כל הכיולים שנעשו בלהבים במשך 22 שנה, וניתחנו אותם מחדש על מנת לשפר את המשוואות וסיכמנו את התוצאות.

התנהגות רעיה: נושא מחקר חשוב בלהבים הוא מעקב מרחבי של העדרים. כדי לחשב לחץ הרעיה המרחבית, הנחנו שהעדר עוסק ברעיה לכל אורך המסלול שלו. יכול להיות שבעלי החיים משלבים צריכה ותנועה לכל אורך המסלול או, לחילופין, המסלול מתחלק לפרקים של הליכה מהירה יחסית ופרקים של רעיה מלווה בתנועה איטית יחסית. נעשו תצפיות של התנהגות רעיה כדי לברר את זה.

פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו

ניסוי 1: כתמיות בתכונות קרקע בארבעה סוגי כתם

דגימות קרקע נלקחו בשיא עונת הצימוח ובסוף העונה היבשה. מפנה צפוני ומפנה דרומי שמשו למחקר, במהלכו נדגמו שלש חלקות פתוחות ושלוש חלקות סגורות (מזה כעשור) על כל מפנה. הדיגום נעשה עומקים 0-2 ו- 5-10 ס"מ ומסוגי כתם שונים: שיח, שטח בין-שיחי, שביל הליכה של העדרים ומצבור אבנים. מרכיבים אלו מייצגים את מערכת המקור-מבלע המוכרת (שיחים ושטחים בין-שיחיים) ואת השפעות הרעיה (שבילים ומצבורי אבנים). מכל סוג כתם נלקחו 7 דגימות. נבדקו: לחות גרווימטרית, תכולת חומר אורגאני, משקל נפחי, ותכולת סידן פחמתי.

תוצאות ניסוי 1: תכולת מים בקרקע: באביב נמצאו הבדלים מובהקים בלחות הקרקע של העומק הראשון בין סוגי הכתם (איור 1). מגמה דומה התקבלה בעומק השני. בסתיו נמצאו הבדלים קטנים יותר. למפנה נמצאה השפעה מובהקת באביב בלבד. ברמת החלקה, לא נמצאה לגורם הרעיה השפעה מובהקת על לחות הקרקע. למרות זאת, בעונת האביב האינטראקציה בין הרעיה לבין סוג כיסוי פני השטח הינה מובהקת מאוד (איור 2). בעומק הראשון, נמצא שלחות הקרקע בשטחים הבין-

שיחיים הייתה נמוכה יותר בחלקות הסגורות מאשר בחלקות הפתוחות, בעוד שלחות הקרקע בשבילים הייתה גבוהה יותר בחלקות הסגורות מאשר בחלקות הפתוחות. מגמה דומה התקבלה בעומק השני. בעונת הסתיו, ההבדלים היו קטנים יותר מאשר באביב (איור 3). לסוג כתם היה השפעה מובהקת מאוד על תכולת המים בקרקע בשתי העונות ובשני העומקים (טבלה 1). תכולת מים הייתה גבוהה ביותר בכתם השיח, ונמוכה ביותר בשבילי ההליכה. משקל הנפחי של הקרקע: הגורמים מפנה, רעיה והאינטראקציה ביניהם לא היו מובהקים בשתי העונות ובשני העומקים. סוג כתם היה מובהק מאוד בשתי העונות ובשני העומקים (טבלה 2). משקל הנפחי היה גבוה ביותר בשבילי ההליכה ונמוך ביותר בכתם השיח. האינטראקציה רעיה X סוג כתם הייתה מובהקת מאוד בעומק העליון בשתי העונות. תכולת חומר אורגני: הממוצעים הכלליים של תכולת חומר אורגני של הקרקע היו 3.78% בעומק העליון ו- 2.74% בעומק התחתון. לגורם רעיה לא הייתה השפעה מובהקת על תכולת חומר אורגני בשתי העונות ובשני העומקים. סוג הכתם השפיע באופן מובהק מאוד על תכולת חומר האורגני בקרקע בשתי העונות ובשני העומקים (טבלה 3). תכולת חומר האורגני תמיד הייתה גבוהה ביותר בכתם השיח ונמוך ביותר בשבילי ההליכה. האינטראקציה רעיה X סוג כתם הייתה מובהקת מאוד בשני העומקים באביב, ובסתיו היא הייתה מובהקת בעומק העליון. סידן פחמתי: הממוצעים הכלליים של תכולת סידן פחמתי בקרקע היו: במפנה הצפוני - 15.0% בעומק העליון ו- 14.6% בעומק התחתון, ובמפנה הדרומי - 26.3% בעומק העליון ו- 26.7% בעומק התחתון. ההבדל בין שני המפנים היה מובהק לגבי שני העומקים. רעיה והאינטראקציה מפנה X רעיה לא היו מובהקים. תכולת סידן הפחמתי בקרקע מושפע מסוג הכתם בשני העומקים (טבלה 4). היחסים בין תכונות הקרקע: קורלציה בין תכונות הקרקע הראתה מספר קשרים מובהקים מאוד (איור 4). הקשרים החזקים ביותר היו קשרים חיוביים בין תכולת חומר האורגני ותכולת המים בקרקע.

ניסוי 2: כתמיות בתכונות קרקע פסיקאליות

הניסוי בוצע מפנה צפוני ודרומי, הנתון לנוכחות תדירה של העדרים. כל מפנה חולק לשלוש רצועות גובה. בכל רצועה נבחרו 33 כתמי שיח של סירה קוצנית. בכתמים אלה נמדדו שיפוע פני הקרקע ועומק הפנטרציה לאורך חתך, שצירו עם כיוון המדרון, ושעבר מעל הגזע המרכזי של השיח. בציר החתך היה השיח עצמו מחולק בין שני מקטעים: עליון (US) ותחתון (DS). כלל החתך גם את המקטע הצמוד למעלה השיח, שזוהה בד"כ כשביל הליכה של העדרים (TR). שני מקטעים נוספים בחתך היו שטח בין-שיחי תחתון (LI) במורד DS, ושטח בין-שיחי עליון (UI) מעל TR. ניתוח שונות נעשה לשיפוע פני השטח ולעומק הפנטרציה בשיטת split-plots כאשר מפנה ורצועת גובה שימשו כגורמים עיקריים ומקטע, כגורם משני. כל זוג מפנים צפוני ודרומי נחשב כבלוק (חזרה).

תוצאות ניסוי 2: בניתוח שיפוע פני השטח נמצא כי הגורם מפנה היה מובהק וכי ממוצעי השיפועים במפנה הצפוני והדרומי היו 14.4° ו- 11.1° , בהתאמה. הגורם מקטע היה מובהק ביותר ושיפועי כל 5 המקטעים היו שונים זה מזה. שביל ההליכה (TR) היה בעל השיפוע המתון ביותר והמקטע בחלקו התחתון של השיח (DS), בעל השיפוע החריף ביותר. השיפוע נע בין 5.1° ב-TR ו- 21.0° ב-DS (טבלה 5). דירוג המקטעים היה: $DS > UI > LI > US > TR$. ניתוח עומק הפנטרציה העלה כי שני הגורמים העיקריים, מפנה ורצועת גובה, היו מובהקים. למרות זאת היו ההבדלים בין המפנים ובין רצועות הגובה קטנים ביותר. השפעת הגורם מקטע הייתה מובהקת ביותר ועומק הפנטרציה

הממוצע נע בין 20.5 מ"מ במקטע בחלקו העליון של השיח (US) ו-6.1 מ"מ בשביל ההליכה (TR) (טבלה 6). המקטעים הקיצוניים לאורך ציר החתך (UI ו-LI) היו היחידים שלא היו שונים זה מזה באופן מובהק. גם בעומק הפנטרציה, האינטראקציות מפנה X מקטע ורצועת גובה X מקטע היו מובהקות, אך דירוג המקטעים נשמר תמיד בסדר הבא: $US > DS > (UI, LI) > TR$.

ניסוי 3: תופעת העטרות

מיקמנו אתר ניסוי בגודל 50×30 מ' על מפנה צפון-מערבי. האתר גודר, ובתוכו נבחרו 20 חלקות בגודל 3×3 מ', הכוללות כל אחת שיח או קבוצת שיחים צפופים ושטח פתוח מסביב. לכל חלקה הוקצה טיפול מתוך ארבעה טיפולים אפשריים: השארת הסירה ורעייה, השארת הסירה והגנה מרעייה, הסרת הסירה (כריתה עד לגובה הקרקע) ורעייה, הסרה ללא רעייה. הגנה מפני רעייה בוצעה באמצעות גדר מקומית סביב החלקה. על מנת להעריך את הבימוסה העשבונית ולמפות את פיזור על פני אתר הניסוי, השתמשנו בתצלומי אוויר, בעיבוד תמונה, מערכות מידע גיאוגרפיות, וכיולים מתאימים. הרזולוציה של מיפוי הבימוסה העשבונית הייתה 10 ס"מ. חושב המרחק של כל פיקסל משולי השיח הקרוב אליו. הניתוח הסטטיסטי של ערכי הבימוסה נעשה על ידי ANOVA, בעזרת מודל פקטוריאלי מלא. הגורמים במודל היו כריתה (כן או לא), רעייה (כן או לא), מרחק משולי השיח (ארבע קטגוריות מרחק: 0.1, 0.2, 0.3, ו-0.4 מ'), והאינטראקציות בינם. דגמנו קרקע בשלושה סוגי כתמים: בלב השיח, בעטרות של החד-שנתיים, ובאזורים פתוחים. ריכוזי ניטרט, אמוניה, זרחן, וקלציום-כלוריד נבדקו. לאורך עונת המחקר הוכנסה לאתר הניסוי קבוצת כבשים מדי עשרה ימים, ושהתה באתר כשעתיים. בחנו כיצד מקצות הכבשים את זמן לרעייה בכתמים השונים על ידי תצפיות התנהגות. את הקצאת הזמן לרעייה שנצפתה, השונו להקצאת זמן אקראית או אחידה לפי אחוזי הכיסוי של הכתמים, כפי שחושבו באמצעות עיבוד התצלום האווירי.

תוצאות ניסוי 3: למרחק משולי השיח יש השפעה חזקה מאוד על הבימוסה העשבונית. גם לשני הטיפולים, כריתה ורעייה, הייתה השפעה מובהקת ביותר על הבימוסה, ללא אינטראקציות מובהקות בינם ובין המרחק משולי השיח. הבימוסה העשבונית במרחק פחות מ-10 ס"מ משולי השיח, גדולה באופן מובהק מהבימוסה בשלושת הקטגוריות הרחוקות יותר. בחלקות "שיח עם רעייה", כמות הבימוסה העשבונית בקרבת השיח גדולה ב-30% בערך מהבימוסה רחוק יותר. גם בטיפול שיח ללא רעייה הופיעה עטרה. נראה שהשיח הקוצני לא מרתיע את הכבשים מאכילת העשבוניים בקרבתו. עטרה הופיעה גם בשני טיפולי הכריתה, אמנם בתבנית שונה במקצת לעומת הטיפולים ללא כריתה. אחוזי הכיסוי היו - של שטח פתוח (כ-45%), שיחים (33%) ועטרות ברוחב 15 ס"מ סביב כל שיח (22%) באתר הניסוי כולו. מהתצפיות עולה שבעוד הכבשים מקצות זמן לאכילה של סירה קוצנית באופן פרופורציונאלי לאחוז הכיסוי של שיח זה בנוף, הן מבלות זמן רב מהצפוי ברעייה בעטרה, ופחות זמן מהצפוי באזורים הפתוחים. ריכוזם של שניים מארבעת הנוטריינטים שנבדקו גבוה בהרבה תחת השיח והעטרה, לעומת כתמים פתוחים: ריכוז החנקן האמוני, גבוה פי 2, וריכוז האשלגן פי 1.5 בקירוב. גם בריכוזי הזרחן יש דפוס דומה, אך ההבדלים אינם מובהקים.

ניסוי 4: השפעת כריתה ורעייה על תכונות קרקע

המבנה הבסיסי של הניסוי כולל ארבעה טיפולים: א. ללא רעייה וללא כריתה ("ביקורת"); ב. עם רעייה וללא כריתה; ג. ללא רעייה ועם כריתה; ד. עם רעייה ועם כריתה. ישנן 4 חזרות (4 מדרונות,

פנות צפון-מערב), בהם לכל חלקה, שגודלה דונם, הוקצה טיפול באופן אקראי. כל החלקות מגודרות; הרעיה בחלקות עם רעיה מופעלת בצורה מכוונת. כריתת המעוצים (בגובה הקרקע) בוצעה בדצמבר של 2004, 2005, ו-2006. נדגמה קרקע בשני סוגי הכתם בחלקת טיפול מסוג ביקורת, בכתם המעוצה (סירה קוצנית) בחלקת טיפול ללא רעייה ועם כריתה, ובכתם העשבוני בחלקת טיפול עם רעייה וללא כריתה. נטלנו דגימות ב-8 נקודות במרחב עבור כל סוג כתם, ומ-3 שכבות עומק: 0-5, 5-10, ו-20-10 ס"מ. הדוגמאות ברמת החלקה, סוג כתם ושכבת עומק אוחדו לדוגמה אחת. נבדקו: אחוז רוויה; ערך הגבה; מוליכות חשמלית; נתרן; סידן; מגנזיום; יחס ספיחת נתרן; אחוז חומר אורגני; חנקן חנקתי; חנקן אמוני; זרחן; אשלגן; גיר כללי. הטיפולים הוגדרו כצירוף של הטיפול (מבחינת רעיה וכריתה) וסוג הכתם. ביצענו ניתוח שונות לכל תכונת קרקע לאחר טרנספורמציה במידת הצורך. כאשר גורם הטיפול היה מובהק, נבחנו הקונטראסטים מתאימים.

תוצאות ניסוי 4: איור 5 מציג את הערכים – החזרות (בלוקים), וממוצעי החזרות - עבור כל תכונות הקרקע שנבדקו, לפי טיפול ברמת החלקה וסוג כתם. טבלה 7 מסכם את תוצאות ניתוח השונות לכל תכונת קרקע, ועומק קרקע. גורם הטיפול לא השפיע, או השפיע במידה מועטת, על ערך הגבה (pH), חנקן אמוני, אשלגן וגיר כללי. אחוז חומר אורגני: ההשוואה בין כתם סגור לכתם פתוח בטיפול הביקורת מראה שאחוז החומר האורגני גבוה יותר באופן מובהק בכתם הסגור בכל עומקי הקרקע שנדגמו. גודל הפער בין שני סוגי הכתם השתנה מאוד בין שכבות העומק. בשכבה העליונה, חומר אורגני עולה מ-1.9% בכתם הפתוח ל-3.5% בכתם המעוצה. כריתת החלק העל-קרקעי של הצמח לא השפיעה באופן מובהק על אחוז החומר האורגני בכל שכבות הקרקע. אין הבדל מובהק לגבי הקונטרסט השלישי (רעייה) בכל העומקים. קיימים קשרים כמותיים בין אחוז חומר אורגני לבין תכונות קרקע רבות אחרות. דיון מפורט לגבי יתר המדדים ניתן למצוא בדוח השנתי.

ניסוי 5: השפעת כריתה ורעיה על הייצור הראשוני

בניסוי השתמשנו במסגרת הטיפולים ששימשה את ניסוי 4. נעשו: חתכי כיסוי, ספירת נבטים, ומדידת ביומאסה עשבונית. החתכים נעשו בקיץ 2006, 2007, ו-2008 בכל אחת מ-16 החלקות של הניסוי. בניתוח שונות של ערכי הכיסוי, הגורמים היו שנה, רעיה (כן או לא), וכריתה (כן או לא), במבנה פקטוריאלי מלא. ספירת הנבטים התבצעה בעונות 2004/5, 2006/7, ו-2007/8, בכל אחד מהבלוקים, ובכל חלקה (טיפול) של כל בלוק. בעונות 2006/7 ו-2007/8, הדיגום נעשה לפי שני סוגי כתם: סגור ופתוח. הניתוח הסטטיסטי היה של מספר הנבטים ליחידת שטח לכל צירוף של עונה, בלוק, טיפול, וסוג כתם. מדידת הביומאסה של הצומח העשבוני התבצעה בשיטת הדיגום הכפול בעונות: 2004/5, 2005/6, 2006/7, ו-2007/8, בכל אחד מהבלוקים, ובכל חלקה (טיפול) של כל בלוק. בעונות 2006/7 ו-2007/8, הדיגום נעשה לפי שני סוגי כתם: סגור ופתוח.

תוצאות ניסוי 5: איור 6 מסכם את נתוני הכיסוי, בהתאם לשנה וטיפול. ערכי הכיסוי די יציבים לאורך השנים, למרות שלא הייתה חוזרת מאז דצמבר 2006. לרעיה אין השפעה ברורה על כיסוי הצומח המעוצה. ללא כריתה, הכיסוי של צומח מעוצה מסתכם בכ-40% מהשטח. בחלקות הכרותות, הצומח המעוצה מכסה פחות מ-10% מהשטח. הגורם המכריע בניתוח השונות הוא כריתה. לא הייתה השפעה של רעיה על הכיסוי של סירה קוצנית. כאשר גורמים לא מובהקים הוצאו מהמודל, לרעיה הייתה השפעה מובהקת על הכיסוי של עירית; רעיה הקטינה את מספר כתמי עירית. איור 7

מסכם את נתוני הנביטה, בהתאם לשנה וטיפול. כאן רואים שונות גבוהה מאוד בין שנה לשנה, וגם תגובה לא עקבית לסוג כתם. מעניין לציין שלטיפול (כריתה או רעיה) ישנה השפעה קטנה, אם בכלל. ניתוח סטטיסטי נעשה עבור הנתונים של שתי העונות שבהן נדגמו שני סוגי הכתם. הגורמים במודל היו: עונה, כריתה, רעיה, סוג כתם, והאינטראקציות ביניהם. השפעות מובהקות התקבלו עבור: עונה, כריתה (עלייה בצפיפות הנבטים עם כריתה), האינטראקציה רעיה × כריתה, האינטראקציה עונה × סוג כתם, והאינטראקציה רעיה × סוג כתם. טבלה 8 מסכמת את נתוני הביומאסה שהתקבלו לאחר הפעלת משוואות הכיול על ערכי האומדנים שנאספו בכל חלקה למטרת קביעת הביומאסה.

ניסוי 6: ניטור ארוך טווח של הייצור הראשוני

בחורף 1988 נבחרו שלושה אתרים במרחקים שונים מהמכלאה המרכזית. בכל אתר הוגדרו ארבעה בתי גידול: ראש גבעה, מפנה צפוני, מפנה דרומי וכתפי ואדי. מדידה של הביומאסה העשבונית מתבססת על שיטת "הדיגום הכפול". לשיטה זו שני מרכיבים: א) קביעת הקשר בין הציון שנותן הדוגם לבין הביומאסה האמיתית. זה נעשה עבור מספר יחסי קטן של ריבועי דיגום, על ידי מתן ציון, קצירה, וחישוב קו הרגרסיה בין הציונים לבין משקל החומר היבש הנקצר. ב) מתן ציון למספר רב של ריבועי דיגום, ללא קצירה, והפעלת משוואת הרגרסיה כדי להפוך את הציונים ליחידות של ביומאסה. ברור שאיכות אומדן הביומאסה הממוצעת ליחידת שטח תלויה בטיב הקורלציה (מתאם) בין אומדני העין לבין משקלם האמיתי. אספנו את כל הכיולים שנאספו מאז 1988. במשך שנים רבות, השיטה הסטנדרטית לקביעת משוואת הכיול הייתה רגרסיה ליניארית, בלי לאלץ את הקו לעבור דרך המקור, ובלי לתקן ערכים שליליים. בסיכום הנוכחי, התעמקנו יותר בעניין התאמת קו רגרסיה והחלטנו לעיין בכל כיול בנפרד ולהתאים לו את הקו הטוב ביותר מתוך מבחר יחסית גדול של צורות פונקציה.

תוצאות ניסוי 6: מספר הכיולים שנדגמו בלהבים בתקופה בפברואר 1988 עד באפריל 2009 הוא 1373. נקצרו 13602 ריבועים של 25 על 25 ס"מ. מספר הריבועים שנקצרו לסט כיול היה בד"כ 10. החודשים הפעילים ביותר היו מרס ואפריל. רוב רובם של ערכי אומדני העין היו בין 1 ל-10. ערכי הביומאסה שנקצרה בריבוע דיגום של 625 ס"מ רבוע נעו בין 0.01 גרם ח"י ל-107.5 ג' ח"י. זה שווה ל-0.16 עד 1720 גרם ח"י למטר רבוע. איור 8 מראה את ההתפלגות של ערכי הביומאסה. ממוצע ריבוע מקדם המתאם של כלל הכיולים היה 93%, ו-78% מערכי ריבוע מקדם מתאם היו מעל 90%. נתנו גם ציון לאיכות הרגרסיה. פונקציה ליניארית הייתה הפונקציה הנפוצה ביותר ($n = 459$). שיעור השונות המוסברת (מקדם מתאם בריבוע) נע בין 0.488 ל-0.997, אך רוב רובם של הערכים היו בתחום הגבוה (72% היו מעל 0.9). איור 9 מראה את ההתפלגות של ערכי מקדם מתאם בריבוע עבור כל הפונקציות הליניאריות. פונקציה ריבועית (משוואה פולינומיאלית ממעלה שנייה) הופעלה עבור כ-22% מכלל הכיולים ($n = 298$). שיעור השונות המוסברת נע בין 0.492 ל-0.999, ורוב רובם של הערכים היו בתחום הגבוה (89% היו מעל 0.9). פונקציה שורש- Y : $\text{sqrt}(Y)$. כל הכיולים האלה הם בעלי צורה קמורה (כלומר: עלייה בשיפוע עם עלייה בתחום אומדן העין). זה הופעל עבור 12% מכלל הכיולים ($n = 160$). שיעור השונות המוסברת נע בין 0.697 ל-0.991, ורוב רובם של הערכים היו בתחום הגבוה (84% היו מעל 0.9). פונקציה שורש- X : $Y = a + b \cdot \text{sqrt}(X)$. כל הכיולים האלה הם בעלי צורה קעורה (כלומר, ירידה בשיפוע עם עלייה בתחום אומדן העין). זה הופעל עבור 11% מכלל הכיולים ($n = 147$). שיעור השונות המוסברת נע בין 0.502 ל-

0.985, ורוב הערכים היו בתחום הגבוה (57% היו מעל 0.9). פונקציה מעוקבת (פולינומיאלית במעלה שלישית): בא לרוב כדי להתמודד בצורות מאוד לא ליניאריות של כיולים. היו 77 מקרים כאלה. פונקציה שורש-לוג: $\sqrt{Y} = a + b \cdot \log(X)$. כיולים אלה (n = 57) הם בעלי צורה קעורה. פונקציה לוג-שורש: $\log(Y) = a + b \cdot \sqrt{X}$. כיולים אלה (n = 54) הם בעלי צורה קמורה. פונקציה לוג-Y: $\log(Y) = a + b \cdot X$. כיולים אלה (n = 41) הם בעלי צורה קמורה. פונקציה שורש-שורש: $\sqrt{Y} = a + b \cdot \sqrt{X}$ (n = 34). הפונקציה הזאת מונעת קבלת ערכים שליליים באומדני העין הנמוכים ביותר. פונקציה לוג-X: $Y = a + b \cdot \log(X)$. יש 21 מקרים כאלה. הקשר בין ביומאסה לאומדן העין הוא קעור באופן בולט בכל המקרים האלה, כלומר שיפוע תלול בהתחלה, וירידה בשיפוע, ואפילו התיישרות, בהמשך. יתר הפונקציות הופעלו במקרים מועטים ולא נעסוק בהם כאן.

ניסוי 7: התנהגות רעיה

השתמשנו בשיטה עם 3 מרכיבים: 1. הפעלת מכשיר ה-GPS בצורה הרגילה שלנו בחווה. 2. הרכבת מד פעילות/פדומטר משוכלל מאוד באחד הרגליים של אותו בעל חיים שנושא את מכשיר ה-GPS. 3. תצפית עין ורישום מסונכרן של פעילות אותו בעל חיים שנושא את שני המכשירים הנ"ל. התצפית עצמה יענה על השאלה לגבי חלוקת הזמן בין פעילויות שונות, והשילוב עם המכשירים יאפשר לנו לבדוק האם ניתן לקבוע מכל אחד לחוד או שניהם ביחד מה פעילות בעל החיים. התצפיות התבצעו בתקופת הקיץ של 2007, ב-4 ימים. נבחרו 3 כבשים והותקנו עליהם אפוד GPS ומד רגל. העדר יצא בליווי הרועה והתצפיתן או תצפיתנים. הוגדרו 4 פעילויות: הליכה בלבד, רעיה תוך כדי הליכה, רעיה ללא הליכה, ועמידה בלבד. התצפיתן רשם את שעת ההתחלה של התצפית ואת הפעילות, ולאחר מכן נרשם כל שינוי בפעילות: שעת המעבר ואת הפעילות החדשה. לא נרשם שינוי בפעילות אלא אם כן היא נמשכת לפחות 20 שניות.

תוצאות ניסוי 7: טבלה 9 מסכמת את סה"כ זמני הפעילות בדקות לכל יום תצפית ולכל בעל חיים, לא כולל פעילות "לא ידועה". חלוקת הזמן הייתה: עמידה בלבד: 13%, עמידה + רעיה: 37%, הליכה בלבד: 27%, הליכה + רעיה: 24%. כלומר, בעלי החיים עסקו ברעיה רק כ-60% מהזמן שהם היו במסלול "הרעיה" שלהם. איור 10 מראה את התגובה של סה"כ זמני הפעילות השונים לרזולוציה הזמן. לכל סוג של פעילות ישנה מגמת ירידה, אך כל סוג של פעילות מגיב קצת אחרת. הפעילות "לא ידועה" משלימה את סך הכול זמן התצפית בחישוב זה. ברור שאם, לדוגמה, נקבע רזולוציה של 5 דקות לפעילות, חלק גדול מהשינויים בפעילות לא יירשמו כי הן לא נמשכות 5 דקות. איור 11 מראה את ההתפלגויות של זמן פעילות לכל סוגי הפעילות על סמך הרזולוציה של בסיס הנתונים (20 שניות). הזמן הממוצע לארבעת סוגי הפעילות נע בין דקה אחת לדקה וחצי בלבד.

דין

סוגי הכיסוי של שטחי מרעה מאופיינים על ידי תכונות קרקע שונים. הממצאים תואמים לפרדיגמה של two-phase mosaic שמורכב מכתמי שיח ואזורים בין-שיחיים, אך חשוב להכיר בשבילי ההליכה כמיקרו-בית גידול נפרד בתוך השטח הבין-שיחי. כתמי סירה קוצנית קשורים לדגמים מרחביים של מיקרוטופוגרפיה והתנגדות הקרקע לפנטרציה. דגמים אלו מושפעים מרעיה. הרעיה משפיעה בעיקר על היווצרות שבילי הליכה בעלי פני שטח אטומים ושטוחים במעלה השיחים ועל החלוקה המרחבית של חומר מינרלי בשאר השטח הבין-שיחי. היחסים המרחביים בין שיחים

ומיקרוטופוגרפיה מצמצמים את הרציפות המדרונית של נגר עילי וסחיפת קרקע מעבר לסקאלת הכתם ולכן, מקטינים אובדן משאבים מהמערכת. נראה כי להסרת שיחים תהיה השפעה שלילית. תופעת העטרה אכן קיימת - ביומסת העשבונים החד-שנתיים גבוהה יותר בקרבת שיחי הסירה הקוצנית. בדקנו שני הסברים אפשריים להיווצרות העטרה: ויסות משאבים (ע"י השיח), והפרעה (רעיית כבשים). ניתן להסיק מהתוצאות שהעטרה אינה תוצאה של רעייה, אלא של ויסות הזמינות של משאבים ע"י השיח, מסקנה המקבלת חיזוק מדגימות הקרקע. מתצפיות ההתנהגות ברעיית הכבשים עולה שהן מגיבות בחיוב לדפוסי הפיזור המרחבי של העשבונים. חתכי הכיסוי משקפים היטב את טיפול הכריתה, אך לא הייתה השפעה ברורה של טיפול הרעה. יכול להיות שהרעה לא מצליחה לשמור את הכיסוי של הצומח המעוצה ברמה נמוכה לאחר הכריתה ביחס לטיפול ללא רעה; או שהכריתה החוזרת גרמה לכך שקצב ההתאוששות של הצומח המעוצה נמוכה מאוד כך שהשפעת הרעה לא באה לידי ביטוי עדיין. המשך ניטור החלקות צפוי להבהיר את העניין הזה. לגבי צפיפות הנבטים, ברור שאי אפשר להתעלם מחברת הצומח העשבוני שמתפתח מתחת לחופת הצומח המעוצה; במשך שנים רבות התעלמנו מזה והנחנו שהחברה הזאת זניחה ומבוטלת ביחס לצומח העשבוני בשטח הבין-שיחי. יש אפילו צירופים של שנה וטיפול שבהם צפיפות הנביטה בכתם המעוצה גבוהה יותר מזו שבכתם הפתוח. גם לגבי הביומאסה: היצור בכתם המעוצה לא שונה בהרבה מהיצור בכתם הפתוח. אין לכריתה השפעת שלילית על היצור הראשוני של הצומח העשבוני, לא ברמת הכתם ולא ברמת החלקה, בשנים הראשונות של הפעלת הטיפול. באופן כללי, הצוות שאסף את המספר העצום של כיולים במשך 22 שנה עשה עבודה ברמה גבוהה. ממוצע ריבוע מקדם המתאם של כלל הכיולים היה 93%, ו-78% מערכי ריבוע מקדם מתאם היו מעל 90%. העבודה שדווחה כאן תאפשר שימוש במשוואות הכיול הטובות ביותר שיכולנו למצוא. חלק ניכר מהזמן שבעל החיים מבלה לאורך מסלול "הרעה" שלו מוקדש לפעילויות ללא צריכת צומח. רק כ-60% מהזמן מוקדש לצריכה. יש מעברים רבים בין ארבעת הפעילויות שהגדרנו, ופרק הזמן בין מעבר למעבר הוא בין דקה אחת לשתי דקות בממוצע. דגם הפעילות אינו מאופיין על ידי מספר מחזורים של הליכה ממושכת ורעה ממושכת, אלא על ידי ערבוביה דקה למדי של פעילויות.

פרסומים מדעיים

- 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.
- 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. (2009) Livestock modify ground surface microtopography and penetrability in a semiarid shrubland. *Arid Land Research and Management* 23:237–247.
- Stavi, I., Lavee, H., Ungar, E.D. and Sarah, P. (2009) Ecogeomorphic feedbacks in semiarid rangelands: A review. *Pedosphere* 19:217–229.
- Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2008) Surface microtopography and soil penetration resistance associated with shrub patches in a semiarid rangeland. *Geomorphology* 94: 69–78.
- Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. (2008) Grazing-induced spatial variability of soil bulk density and content of moisture, organic carbon and calcium carbonate in a semi-arid rangeland. *Catena* 75:288–296.
- Segoli, M., Ungar, E.D. and Shachak, M. (2008) Shrubs enhance resilience of a semiarid ecosystem by engineering and regrowth. *Ecology* 1:330–339.
- Arnon, A.I., Ungar, E.D., Svoray, T., Shachak, M., Blankman, J. and Perevolotsky, A. (2007) The application of remote sensing to study shrub–herbaceous relations at a high spatial resolution. *Israel Journal of Plant Sciences* 55: 73–82.
- Giladi, I., Segoli, M. and Ungar, E.D. (2007) The effect of shrubs on the seed rain of annuals in a semiarid landscape. *Israel Journal of Plant Sciences* 55: 83–92.

תודתנו לקק"ל/הנהלת ענף המרעה וקרן מדען ראשי שמימנו את המחקר.

טבלאות

טבלה 1. תכולת מים בקרקע (volumetric water content, %) מתחת לארבעה סוגי כתם, לפי עונה ועומק דיגום

Cover type	Sampling season			
	Spring		Autumn	
	Sampling depth (cm)			
	0 – 2	5 – 10	0 – 2	5 – 10
Shrub patch	15.7 a	16.1 a	3.4 a	4.3 a
Intershrub area	11.6 b	14.0 b	2.6 bc	3.5 b
Rock fragment cluster	11.8 b	13.6 bc	2.7 b	3.6 b
Trampling route	6.8 c	12.8 c	2.4 c	2.9 c

Means within a column followed by a different letter differ at the 0.05 probability level according to Tukey's HSD.

טבלה 2. משקל נפחי של קרקע (bulk density, $g\ cm^{-3}$) מתחת לארבעה סוגי כתם, לפי עונה ועומק דיגום

Cover type	Sampling season			
	Spring		Autumn	
	Sampling depth (cm)			
	0 – 2	5 – 10	0 – 2	5 – 10
Shrub patch	1.44 c	1.47 b	1.42 c	1.47 b
Intershrub area	1.49 b	1.50 b	1.50 b	1.50 a
Rock fragment cluster	1.52 b	1.50 ab	1.49 b	1.50 ab
Trampling route	1.57 a	1.53 a	1.57 a	1.51 a

Means within a column followed by a different letter differ at the 0.05 probability level according to Tukey's HSD.

טבלה 3. תכולת חומר אורגני בקרקע (organic matter content, %) מתחת לארבעה סוגי כתם, לפי עונה ועומק דיגום

Cover type	Sampling season			
	Spring		Autumn	
	Sampling depth (cm)			
	0 – 2	5 – 10	0 – 2	5 – 10
Shrub patch	5.45 a	3.39 a	5.00 a	3.34 a
Intershrub area	3.71 b	2.76 b	3.55 b	2.75 b
Rock fragment cluster	3.50 b	2.57 b	3.80 b	2.80 b
Trampling route	2.58 c	2.14 c	2.90 c	2.39 c

Means within a column followed by a different letter differ at the 0.05 probability level according to Tukey's HSD.

טבלה 4. תכולת סידן פחמתי בקרקע (calcium carbonate, %) מתחת לארבעה סוגי כתם, באביב בשני עומקי דיגום

Cover type	Sampling season	
	Spring	
	Sampling depth (cm)	
	0 – 2	5 – 10
Shrub patch	20.00 c	19.73 b
Intershrub area	20.16 bc	20.34 b
Rock fragment cluster	21.06 ab	20.88 ab
Trampling route	21.38 a	21.51 a

Means within a column followed by a different letter differ at the 0.05 probability level according to Tukey's HSD.

טבלה 5. ממוצע שיפוע מיקרוטופוגרפי (%) שקשור לחמשה מקטעים שנדגמו מתחת וסמוך לכתמי סירה קוצנית, לכל אזורי הדיגום ביחד ולפי פנות ורצועת גובה

Segment	All	Aspect		Latitudinal belt		
		N	S	Shoulder	Backslope	Footslope
UI	15.1 b	17.5 b	12.8 b	13.8 b	15.5 b	16.1 b
TR	5.1 e	6.0 e	4.2 d	4.8 d	4.4 d	6.0 d
US	9.0 d	10.4 d	7.7 c	8.7 c	10.1 c	8.4 c
LS	21.0 a	22.6 a	19.3 a	18.9 a	21.9 a	22.1 a
LI	13.4 c	15.5 c	11.3 b	12.1 b	13.9 b	14.2 b

N: northern aspect; S: southern aspect; UI: upper intershrub; TR: trampling route; US: upper shrub; LS: lower shrub; LI: lower intershrub. Within columns, means followed by different letters are significantly different according to Tukey's HSD test at $P \leq 0.05$.

טבלה 6. ממוצע עומק פנטרציה (מ"מ) שקשור לחמשה מקטעים שנדגמו מתחת וסמוך לכתמי סירה קוצנית, לכל אזורי הדיגום ביחד ולפי פנות ורצועת גובה

Segment	All	Aspect		Latitudinal belt		
		North	South	Shoulder	Backslope	Footslope
UI	10.5 c	10.5 c	10.6 c	10.2 c	10.9 c	10.5 c
TR	6.1 d	5.5 d	6.7 d	6.1 d	5.9 e	6.4 d
US	20.5 a	19.2 a	21.8 a	19.7 a	19.4 a	22.4 a
LS	16.4 b	15.8 b	17.1 b	16.1 b	16.0 b	17.3 b
LI	9.8 c	10.0 c	9.7 c	10.1 c	8.6 d	10.8 c

N: northern aspect; S: southern aspect ;UI: upper intershrub; TR: trampling route; US: upper shrub; LS: lower shrub; LI: lower intershrub. Within columns, means followed by different letters are significantly different according to Tukey's HSD test at $P \leq 0.05$.

טבלה 7. סיכום ניתוח שונות של תכונות הקרקע שנבדקו. הטבלה מראה ערכי הסתברות (P values) עבור הגורם היחידי במודל, שהוא הטיפול. ארבעת הטיפולים הוגדרו כצירוף של טיפולי הרעיה והכריתה ברמת החלקה, וסוג הכתם. תכונות הקרקע הן: SP אחוז רוויה, pH ערך הגבה, EC מוליכות חשמלית, Na נתרן, Ca סידן, Mg מגנזיום, SAR יחס ספיחת נתרן, OM אחוז חומר אורגני, NO₃ חנקן ניטרטי, NH₄ חנקן אמוניאקאלי, P זרחן, K אשלגן, Chalk אחוז גיר כללי. הנתונים עבור תכונות שמסומנות בכוכבית עברו טרנספורמציה לוגריתמית.

	Horizon (cm)		
	0 – 5	5 – 10	10 - 20
SP	0.0277	0.0109	0.0415
pH	NS	0.0051	NS
EC	0.0051	0.0023	0.0249
Na*	NS	NS	NS
Ca	0.0038	0.0018	0.0102
Mg	0.0012	0.0012	0.0104
SAR	0.0034	0.0159	0.0373
OM*	<0.0001	0.0010	0.0129
NO ₃	NS	NS	0.0079
NH ₄ *	NS	NS	NS
P*	NS	NS	NS
K*	0.0001	0.0003	0.0269
Chalk	NS	NS	NS

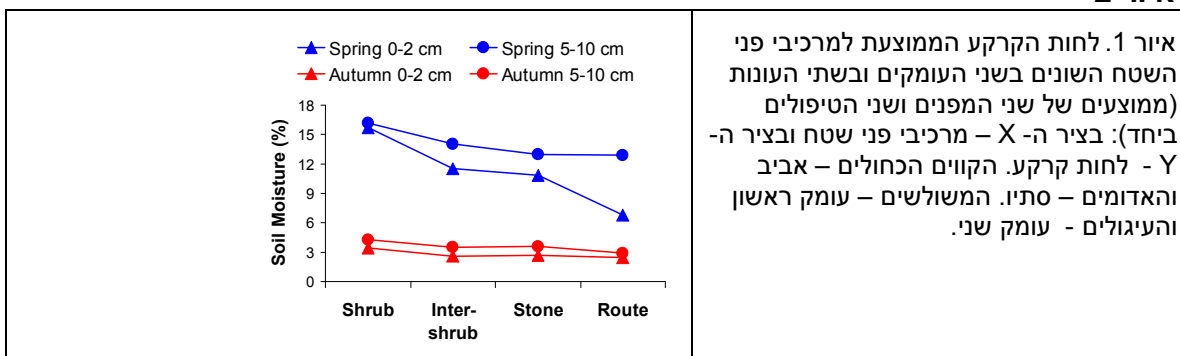
טבלה 8: ביומאסה עשבונית ממוצעת (גרם למטר מרובע), בהתאם לעונה, מועד דיגום, טיפול, וסוג כתרם. הממוצע מבוסס על מספר הבלוקים שנדגמו (4, מלבד קיץ 2007). טיפול: C = כריתה; G = רעיה. 0 = לא; 1 = כן.

C1G1		C1G0		C0G1		C0G0		מועד דיגום	עונה
סגור	פתוח	סגור	פתוח	סגור	פתוח	סגור	פתוח		
	26		31		22		25	7/1/2005	2004/5
	38		38		41		35	21/2/2005	
	44		56		45		44	6/3/2005	
	47		87		35		84	5/7/2005	
	72		89		48		48	23/4/2006	2005/6
	47		65		27		43	18/5/2006	
40	22	45	21	3	3	3	3	29/1/2007	2006/7
125	96	126	100	67	66	65	61	20/5/2007	
23	22	67	76	14	12	49	51	17/8/2007	
41	48	34	48	23	40	34	39	11/5/2008	2007/8
15	17	35	53	11	12	25	20	12/7/2008	

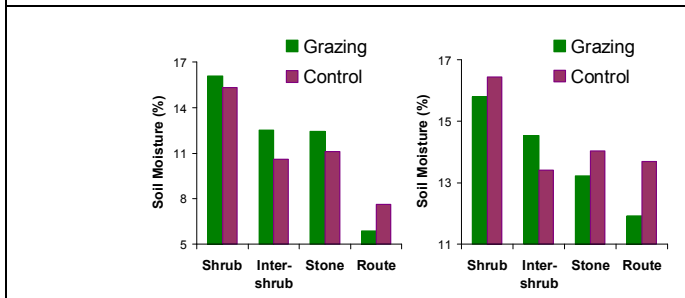
טבלה 9. סה"כ זמני הפעילות (דקות) לפי תאריך, זיהוי בעל חיים וסוג הפעילות, לא כולל פעילות "לא ידועה".

Date	Animal	Stand	Stand+Graze	Activity		All
				Walk	Walk+Graze	
25/07/2007	632		11.17	4.52	15.93	31.62
	706	5.92	11.50	9.00	10.38	36.80
	746	3.03	16.55	12.00	4.38	35.97
25/07/2007 Total		8.95	39.22	25.52	30.70	104.38
01/08/2007	631	35.72	26.40	34.40	18.77	115.28
	736	13.50	21.17	7.62	5.53	47.82
	743	10.60	39.70	29.53	19.08	98.92
01/08/2007 Total		59.82	87.27	71.55	43.38	262.02
09/08/2007	631	0.85	22.25	7.62	21.97	52.68
	706	8.57	28.92	25.67	21.18	84.33
	736	7.05	39.67	24.30	16.87	87.88
09/08/2007 Total		16.47	90.83	57.58	60.02	224.90
15/08/2007	631	1.83	24.22	23.78	15.98	65.82
	706	7.75	11.38	10.33	10.73	40.20
	736	2.00	20.90	9.88	16.30	49.08
15/08/2007 Total		11.58	56.50	44.00	43.02	155.10
All		96.82	273.82	198.65	177.12	746.40

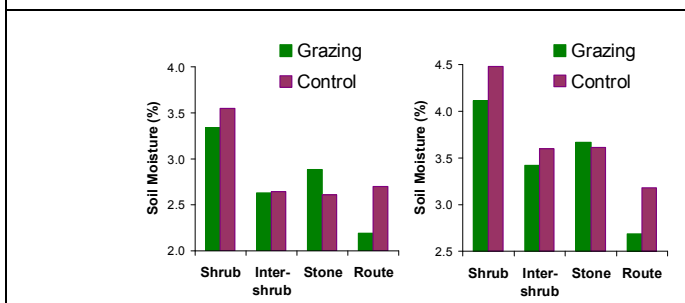
איורים



איור 1. לחות הקרקע הממוצעת למרכיבי פני השטח השונים בשני העומקים ובשתי העונות (ממוצעים של שני המפנים ושני הטיפולים ביחד): בציר ה-X – מרכיבי פני שטח ובציר ה-Y – לחות קרקע. הקווים הכחולים – אביב והאדומים – סתיו. המשולשים – עומק ראשון והעיגולים – עומק שני.

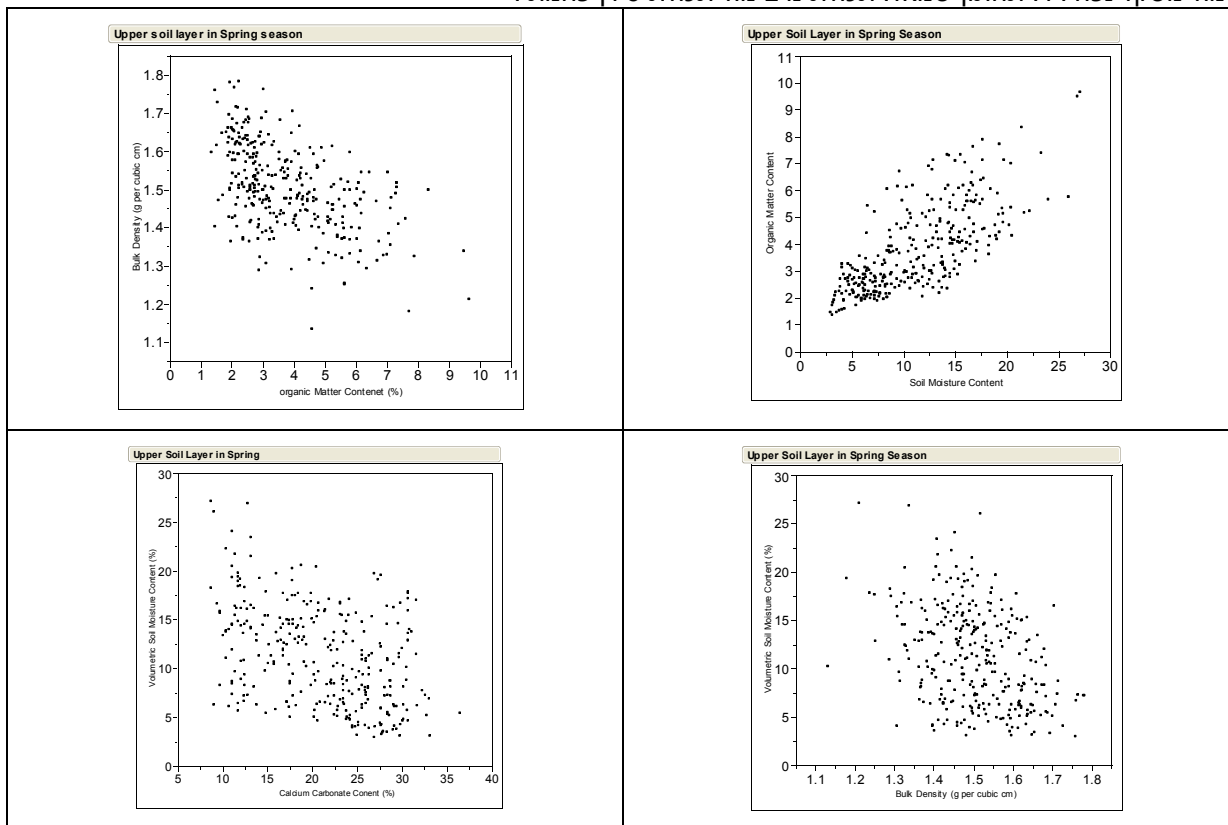


איור 2. לחות הקרקע הממוצעת באביב עבור האינטראקציה בין טיפול למרכיב פני השטח בשני העומקים (ממוצעים של שני המפנים ביחד): מצד שמאל – עומק ראשון ומצד ימין – עומק שני. בציר ה-X – מרכיבי פני שטח ובציר ה-Y – לחות קרקע. העמודות הירוקות – עם רעיה והעמודות הסגולות – ללא רעיה.

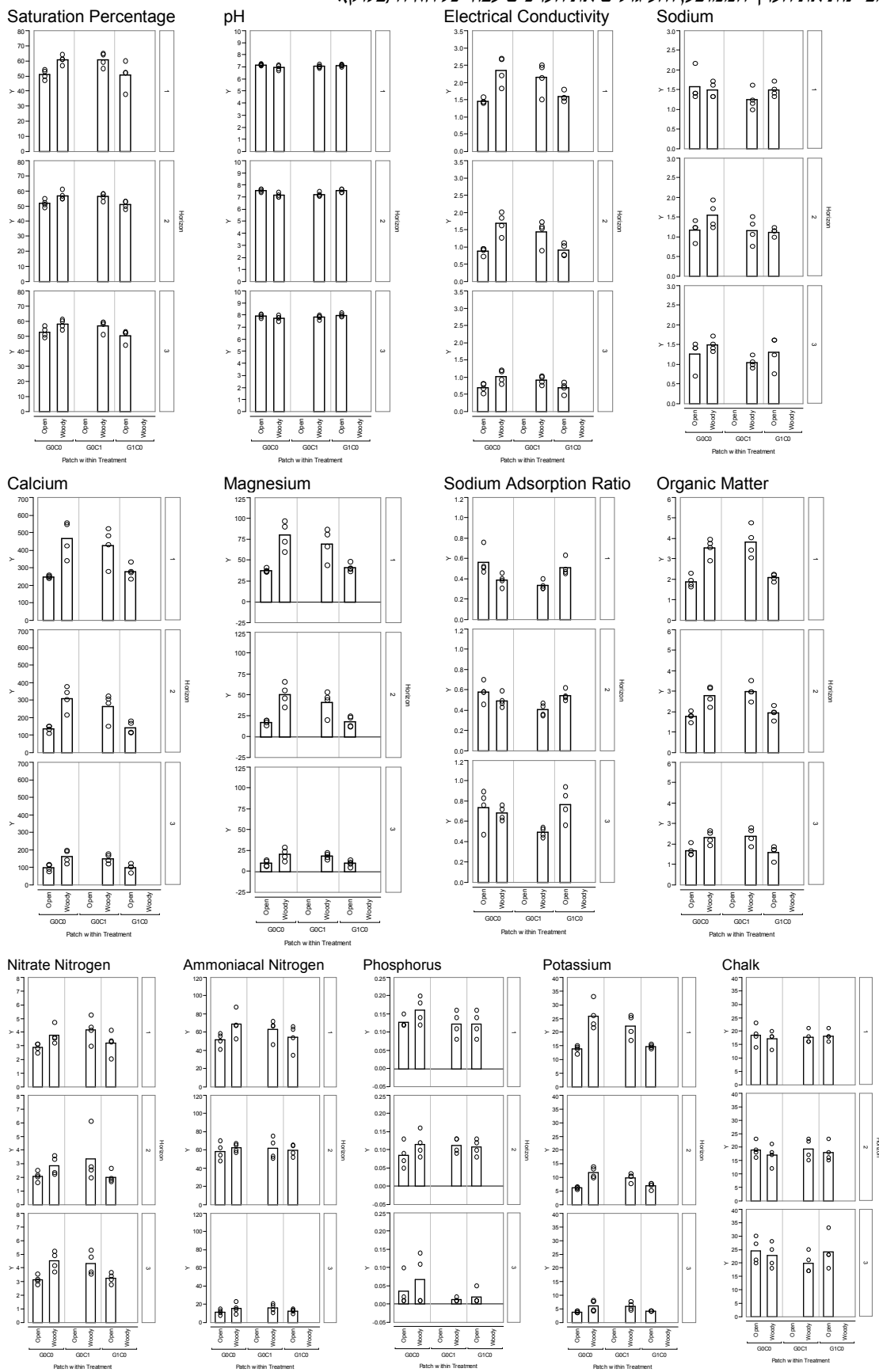


איור 3. לחות הקרקע הממוצעת בסתיו עבור האינטראקציה בין טיפול למרכיב פני השטח בשני העומקים (ממוצעים של שני המפנים ביחד): מצד שמאל – עומק ראשון ומצד ימין – עומק שני. בציר ה-X – מרכיבי פני שטח ובציר ה-Y – לחות קרקע. העמודות הירוקות – עם רעיה והעמודות הסגולות – ללא רעיה.

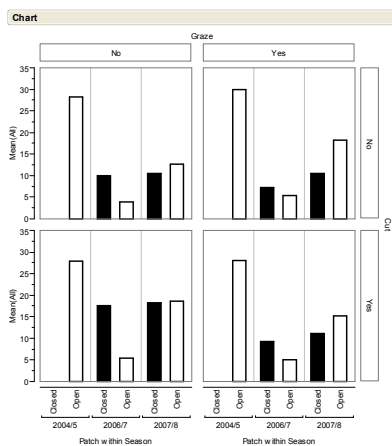
איור 4. הקשרים בין תכונות הקרקע. איורים אלה הם עבור העומק העליון של הקרקע בעונת האביב. א. עליון-ימין: תכולת חומר אורגני מול תכולת מים. ב. עליון-שמאל: משקל נפחי מול תכולת חומר אורגני. ג. תחתון-ימין: תכולת מים מול משקל נפחי. ד. תחתון-שמאל: תכולת מים מול תכולת סידן פחמתי.



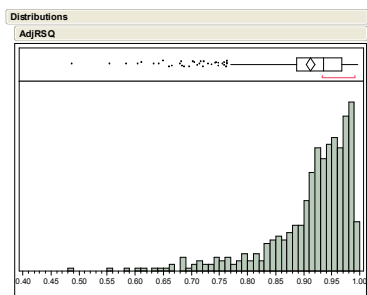
איור 5. תכונות הקרקע בכל טיפול, סוג כתם ועומק קרקע. כל עמוד מתייחס לשתי תכונות, לפי הסדר: אחוז רוויה (Saturation Percentage), ערך הגבה (pH), מוליכות חשמלית (Electrical Conductivity), נתרן (Sodium), חיס ספיחת נתרן (Sodium Adsorption Ratio), אחוז חומר אורגני (Percent Organic Matter), חנקן ניטריטי (Nitrate Nitrogen), חנקן אמוני (Ammoniacal Nitrogen), זרחן (Phosphorus), אשלגן (Potassium), גיר כללי (Chalk).



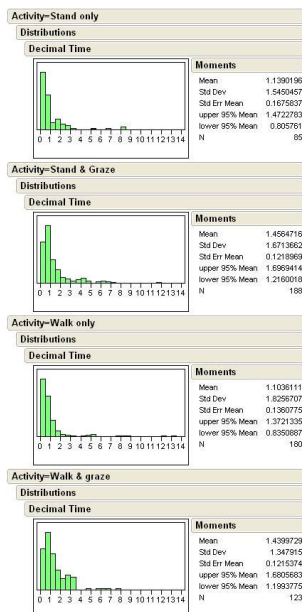
איור 7. הממוצעים של סך כל מספר נבטים (ל-0.01 מ²) בכתמים העשבוניים ("Open") והמעוצים ("Closed") בכל אחד מהצירופים של טיפולי הכריתה ("Cut") והרעייה ("Graze"). הממוצעים מחושבים ממוצעים ברמת הבלוק. הערכים של עונת 2004/5 מוצגים כאילו הם שייכים לסוג כתם "פתוח". בפועל, לא נעשתה אבחנה לפי סוג כתם בשדה בעונה זו.



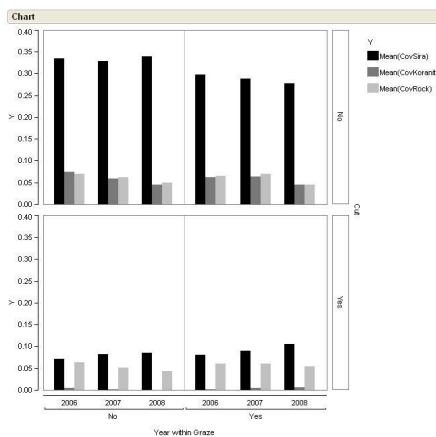
איור 9. התפלגות של ערכי מקדם מתאם בריבוע (adjusted R-Square) עבור הכיולים שהותאמה להם קו גרסיה ליניארית.



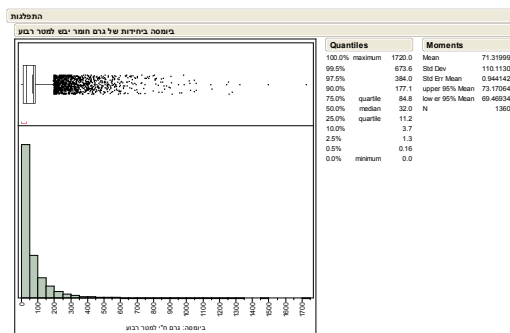
איור 11. התפלגות זמן הפעילות לכל סוגי הפעילות לפי רזולוציית הזמן הבסיס של התצפיות.



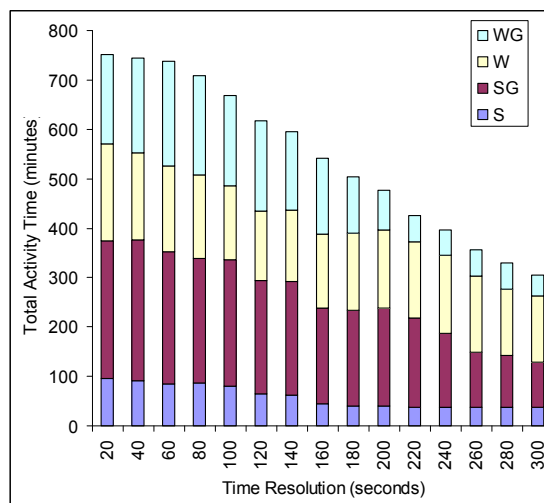
איור 6. הכיסוי היחסי של סירה קוצנית, קורנית מקורקפת, ומחשוף סלע, בחלקות הניסוי. הערכים הם ממוצעים של ארבע חזרות.



איור 8. התפלגות ערכי מיומסה שנקצרה בריבועי הדיגום של הכיולים



איור 10. השפעת רזולוציית הזמן על חישוב הזמן המוקדש לכל פעילות. הפעילויות הן: WG הליכה + רעה, W הליכה בלבד, SG עמידה + רעה, S עמידה בלבד.



סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה. בוצעה סידרה של ניסויים אמפיריים בשטח מרעה צחיח-למחצה בצפון הנגב כדי לחקור סוגיות שונות בתפקוד המערכת האקולוגית שרלוונטיות לשאלות ממשקיות. רוב הסוגיות קשורות ליחסי הגומלין בין הצומח העשבוני, הצומח המעוצה ורעיה. עיקרי הניסויים והתוצאות. 1. נבחנה השפעת הרעיה על תכונות קרקע של מרכיבי נוף שונים. לכתמי השיח הייתה תכולת המים ותכולת חומר האורגני הגבוהים ביותר, ומשקל הנפחי ותכולת סידן פחמתי הנמוכים ביותר. תכונות הקרקע של שבילי ההליכה היו בקיצון השני של הסקאלה. היו אינטראקציות מובהקות בין הרעיה לבין סוג הכתם. 2. נמדדה הפרופיל המיקרוטופוגרפיה של פני הקרקע באזור כתמי שיח. השיח גורם לפרופיל מורכב בעל השלכות חשובות לתנועת מים ומשאבים אחרים במרחב ויציבות המערכת. הרעיה מחזקת את הפרופיל הזה על ידי יצירת רשת של שבילי הליכה. 3. בעזרת תצלומי אוויר מיוחדים, בדקנו קיומן של עטרות עשבוניות סביב לכתמי שיחים, וביצענו 4 טיפולים כדי להבין את התופעה. עטרה של צומח עשבוני מתפתחת באופן עקבי סביב השיחים, והביומסה בה גבוהה ב-30% מזו במרחקים גדולים יותר מהשיח. עטרות מכסות למעלה מ-20% מהנוף. עטרות נוצרו בחלקות שהיו מוגנות מרעייה, ובחלקות בהן נכרתו השיחים. כבשים הגיבו לקיום העטרה ורעו באזור זה זמן רב מהצפוי. 4. נבדק הקשר בין סוג כתם (סגור/פתוח) וטיפול ממשקי (כריתה, רעיה) על 13 תכונות קרקע. השפעות מובהקות נבעו, בדרך כלל, מהבדלים בין שני סוגי הכתם. הכריתה השפיעה בצורה מובהקת על מעט משתנים, ולרעייה כמעט ולא היו השפעות מובהקות. תכולת החומר האורגני בקרקע הינה מדד מרכזי בהבנת מכלול התוצאות. 5. נבדקה השפעת סוג הכתם וטיפול ממשקי על הכיסוי היחסי של מרכיבי נוף, צפיפות הנביטה העשבונית, והביומסה העשבונית. לא הייתה השפעה ברורה של טיפול הרעיה על מרכיבי הכיסוי. חברת הצומח העשבוני שמתפתח מתחת לחופת הצומח המעוצה הרבה יותר חשובה ממה שחשבנו עד כה. 6. סוכמו 1373 כיולים שנאספו בלהבים במשך 22 שנה. הפעלת רגרסיה ליניארית פשוטה על כל הכיולים היא גישה גסה מדי. כיולים רבים דורשים פונקציות לא ליניאריות, ויש צורך להתאים משוואה מתאימה לכל כיול. בעבודה זו רוב רובם של הכיולים כוסו על ידי 11 צורות פונקציונאליות.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. לצומח המעוצה תפקיד מרכזי במערכת האקולוגית. ייתכן מאוד שהשיחים שומרים על המערכת מפני דגרדציה (אובדן מים, קרקע ומשאבים אחרים) בסקאלה של המדרון. אין להניח שהסרת השיחים יביא לשיפור ביצרנות המערכת מבחינת צומח עשבוני בטווח הארוך. העטרה חשובה להבנת המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית של ספר המדבר, ומחייבת התחשבות מיוחדת בכל פעולת ממשק.

בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה. אין.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח. פרסומים בכתב – ראה רשימה בגוף הדו"ח. פטנטים: אין. הרצאות וימי עיון: ראה רשימה בגוף הדו"ח.

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