

רעייה ובצורת בספר המדבר - מגמות ארוכות טווח בכיסוי הצומח המעוצה

ניב דה מלאך^{[1]*}, יוגיין דוד אונגר^[2], הילרי פוט^[1], רפי יונתן^[2],
דני ברקאי^[2], עזרא בן משה^[2], חגית ברעם^[2] וחיים קיגל^[1]

^[1] הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים
^[2] המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
nivdemalach@gmail.com*

תקציר

רעייה היא שימוש קרקע נפוץ ביותר במערכות אקולוגיות צחיחות למחצה שהגורם המגביל בהן לפעילות ביולוגית הוא מים. שיחים הם מרכיב חשוב של מערכות אלה, הן בשל השפעתם הרבה על תהליכים המתרחשים במערכת האקולוגית הן בשל השפעתם על ערך השטח כמראה. מטרת המחקר הייתה לבדוק את ההשפעה של רעיית צאן, בצורת והשילוב ביניהן על הצומח המעוצה במערכת צחיחה למחצה. המחקר נערך באזור גבעות גורל ליד היישוב להבים, בספר המדבר בצפון הנגב בשנים 1996-2007. בחנו את הכיסוי של מיני השיחים הנפוצים (סירה קוצנית, מתנן שעיר ונואית קוצנית) בארבעה בתי גידול: מפנה צפוני, מפנה דרומי, ראש גבעה וכתפי ואדי. כדי לבדוק את השפעת הרעייה על השיחים הוקמו גדורות להגנה מרעייה. הכיסוי היחסי של השיחים נמדד בשיטת point transect. המודל הסטטיסטי כלל ניתוח שונות תלת-גורמי לבדיקת מובהקות השפעות הרעייה, בית הגידול והשנה (כמשתנים בדידים). כמו כן, נבחנה השפעת שתי שנות בצורת רצופות (1999 ו-2000) על מגמות ארוכות טווח בכיסוי השיחים.

תוצאות המחקר מראות כי כיסוי השיחים בחלקות ללא רעייה במשך 11 שנים היה גדול יותר מאשר בחלקות תחת רעייה רציפה (21% לעומת 16%), אם כי השפעת הרעייה הייתה שונה בין המינים ובין בתי הגידול השונים. לבית הגידול הייתה השפעה גדולה ומובהקת על הכיסוי המעוצה. בעוד שבמפנה הצפוני שלטה סירה קוצנית, בשאר בתי הגידול לא היה מין אחד דומיננטי. לא נמצאו אינטראקציות בין הרעייה לבין השנים, למרות השונות הגדולה במשקעים בין השנים. דגמי התגובה של השיחים לאירוע הבצורת היו שונים בין המינים ובין בתי הגידול - בעוד שרמת הכיסוי של הנואית הקוצנית עלתה באופן זמני בהשפעת הבצורת, רמת הכיסוי של הסירה הקוצנית והמתנן השעיר ירדה בעקבות הבצורת, עם התאוששות מוגבלת עבור סירה קוצנית. תוצאות המחקר מעלות חשש באשר ליציבות המערכת האקולוגית בספר המדבר בצפון הנגב, וזאת בשל שינוי האקלים הצפוי להתרחש באזור. אירועי בצורת תכופים עלולים לגרום לתמותה מְבֹדֶלֶת (differential) של מיני שיחים, להקטנת צפיפות כלל השיחים ולשינוי בהרכב כיסוי השיחים.

מילות מפתח: מדבור · סירה קוצנית · שיחים





קיימת השפעה הדדית בין כמות השיחים במדבר וסוניהם לבין רעיית הצאן. הצורות עשויה להביל לריייה בשטח המכוסה על ידי שיחים | צילום: ניב דה מלאך

מבוא

רעייה היא שימוש הקרקע הנפוץ ביותר בעולם^[6], בפרט באזורים צחיחים למחצה^[15]. ברם, טיב השפעת הרעייה על מערכות אקולוגיות באזורים צחיחים למחצה הוא נושא שנוי במחלוקת. יש הטוענים שרעייה על-ידי אוכלי צמחים מבויתים היא אחד הגורמים העיקריים למדבור ולהתדרדרות המערכת האקולוגית באזורים הללו^[19]. לעומתם, טוענים אחרים שבאזורים כמו המזרח התיכון, הנמצאים כבר אלפי שנים תחת רעייה, השפעתה של הרעייה על המערכת האקולוגית איננה שלילית בהכרח^[14]. המחלוקת הזו מקבלת משנה תוקף בעידן של שינוי אקלים שיש בו חשש לפגיעה בתפקוד מגוון רחב של מערכות אקולוגיות^[24, 3]. שינוי במשטר הגשמים עלול לשנות את תפקוד המערכת האקולוגית באזורים צחיחים למחצה מפני שזמינות מים היא הגורם העיקרי המשפיע על תהליכים ביולוגיים באזורים הללו^[11]. בשני העשורים האחרונים העוצמה והתכיפות של בצורות באזורים רבים בעולם גדלו מאוד^[4], מגמה הצפויה להתגבר בעתיד, במיוחד באזורים צחיחים למחצה^[16]. שינוי אקלים ושינוי בשימושי קרקע נחשבים כאיומים הגדולים ביותר על תפקוד מערכות אקולוגיות. אף על פי שאיומים אלה עלולים לפעול באותו זמן, לרוב הם נחקרו בנפרד, למרות

הבעייתיות שבהפרדה זו^[5]. על כן, מחקר ארוך טווח שבוחן שינויים החלים בשטחים הנתונים לרעייה לעומת שטחים ללא רעייה, עשוי לתרום להבנת הקשרים בין ההשפעות של שינוי אקלים והשינוי בשימושי קרקע, במיוחד באזורים צחיחים וצחיחים למחצה. באזורים אלה שיחים עשויים להיות סמן טוב לתפקוד המערכת האקולוגית בגלל השפעתם הרבה על תהליכים המתרחשים בה, כגון שטפי פחמן וחנקן^[27], פיזור מי נגר^[25] ונשימת הקרקע^[23], וכן גם על השפע והפיזור של שאר האורגניזמים^[21]. מטרת המחקר הנוכחי הייתה לבחון את מידת העמידות של השיחים לרעייה, לבצורת ולשילוב ביניהן. ניצלנו את השנים 1999 ו-2000 שהתאפיינו בבצורת קשה, כדי לבחון דגמי תגובה של כיסוי הצומח המעוצה לבצורת בסקלת זמן של עד שבע שנים מהבצורת. הנחנו שבעקבות הבצורת יכולים להתרחש חמישה דגמי תגובה תאורטיים של שינוי בכיסוי השיחים: א) חוסר השפעה; ב) השפעה שלילית - ירידה בכיסוי ללא התאוששות; ג) השפעה חיובית - עלייה בכיסוי והתייצבות; ד) פגיעה והתאוששות - ירידה בכיסוי ועלייה חזרה למצבו ההתחלתי; ה) עידוד זמני - עלייה בכיסוי וירידה למצבו ההתחלתי. להבדיל מצומח עשבוני, קשה מאוד למדוד ביומסה של שיחים. מסיבה זו מקובל להעריך את השינויים

חזית המחקר

החלים במרכיב השיחים בצומח על-ידי אומדן הכיסוי שלהם והשינויים החלים בו במשך הזמן ובתגובה לתנאים סביבתיים, כולל רעייה.

חומרים ושיטות

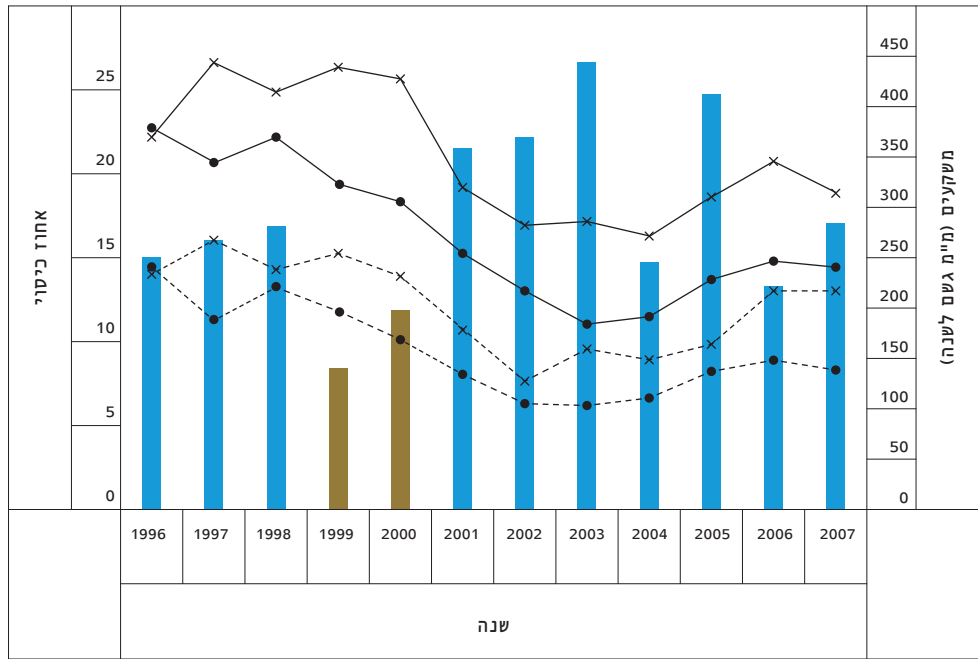
שטח המחקר

הניסוי התבצע בלהבים, אתר למחקר ארוך טווח (LTER) בספר המדבר בנגב הצפוני (31° 20' N, 34° 45' E). האזור נתון לרעיית כבשים ועזים מזה שנים רבות [1]. כיום רועה בחווה עדר של 600 כבשים ו-200 עזים כ-7 שעות ביום. בלילה לן העדר במכלאה. לחץ הרעייה משתנה בין אזורים שונים בחווה, אך עומד במוצע על 10 דונם לראש. העדר מקבל תוספת הזנה במהלך חודשי הקיץ והסתיו. כמות המשקעים הממוצעת (± סטיית תקן) היא 289±90 מ"מ לעונה, עם שינויים גדולים מאוד לאורך שנות הניסוי - מעונות 1995/96 ועד 2006/07 (להלן שנים 1996 עד 2007) (איור 1). העונות 1998/99 ו-1999/2000 (להלן שנים 1999 ו-2000) התאפיינו בצורת קשה, עם 140 ו-198 מ"מ גשם לשנה, בהתאמה.

השיח הנפוץ ביותר מבין השיחים בשטח המחקר הוא סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*), בן שיח שבולט במיוחד במפנים הצפוניים [22]. בני שיח נוספים בעלי תפוצה רחבה באזור, שנפוצים יותר במפנים הדרומיים, הם מתנן שעיר (*Thymelaea hirsuta*), נואית קוצנית (*Noaea mucronata*) וקורנית מקורקפת (*Coridothymus capitatus*) [1].

על קצה המזלג

- * אזור ספר המדבר מתאפיין בשטחי מרעה נרחבים ובמיעוט משקעים המגביל את פוריות המערכת האקולוגית.
- * לשיחים תפקיד מרכזי בספר המדבר בגלל מרכזיותם במערכת האקולוגית ובגלל חשיבותם לרעיית צאן.
- * המחקר בדק את ההשפעה של רעייה ושל שנות בצורת על כיסוי השיחים הנפוצים בשטח צחיח למחצה.
- * נמצא כי לרעייה ולבצורת יש השפעה על כיסוי השטח על-ידי שיחים, התלויה במין השיח ובאופי בית הגידול, וכי השפעת הבצורת משמעותית יותר.
- * תוצאות המחקר מעלות חשש ששינוי האקלים הצפוי עלול להביא לתמותה של מיני שיחים מסוימים ולירידה בכיסוי השטח הכללי על-ידי שיחים.



איור 1. השתנות המשקעים ואחוז הכיסוי של כלל השיחים (כולל קורנית) ושל סירה קוצנית לאורך שנות המחקר ערכי הכיסוי הם ממוצעים של כל האתרים ובתי הגידול. שנות הבצורת (1999 ו-2000) מסומנות בכחום.



ובתי הגידול השכיחות שלה הייתה נמוכה מאוד. לאור השוני בתבנית הפיזור ועקב חוסר ההומוגניות של השונות, מודל כללי של ניתוח שונות לא התאים, ולכן היא לא נבחנה במסגרת הניתוח הסטטיסטי שצוין לעיל.

בניתוח השני נבחנה התגובה של כיסוי השיחים לגשם. נעשתה רגרסיה ליניארית בין כמות המשקעים השנתית (בפועל, מאוקטובר עד מאי) לבין השינוי - היחסי או המוחלט - בכיסוי השיחים הכללי, בתנאי רעייה וללא רעייה.

בניתוח השלישי סיווגנו את דגמי השינוי בכיסוי שהתקבלו בתגובה לבצורת לפי הדגמים השונים שתוארו לעיל. לשם כך השוונו את הכיסוי בכל אחת מהשנים מתחילת הבצורת (1999) ועד סוף הניסוי (2007) מול ממוצע הכיסוי בשנים 1996-1998, שקדמו לבצורת ושהתאפיינו בכמות משקעים ממוצעת. השוואה כזאת נעשתה בנפרד עבור כל המינים בכל בתי הגידול, ועבור הכיסוי המעוצה הכללי בכל בתי הגידול. השתמשנו במבחן Dunnett ($\alpha=0.05$) שמיועד להשוואת ערכים רבים לערך אחד. מקרים שלא הייתה בהם מגמה עקבית הוגדרו כ"חוסר השפעה". מקרים שהכיסוי בהם אחרי השנים 1999-2002 היה נמוך באופן מובהק מזה שבשנים 1996-1998 ונשאר נמוך מאז ועד סוף תקופת הניסוי הוגדרו כ"השפעה שלילית" (גם אם התקבלה מגמה של התאוששות קלה). מקרים שהכיסוי בהם בשנים 1999-2002 היה גבוה באופן מובהק מהכיסוי בשנים 1996-1998 ונשאר גבוה גם לאחר מכן הוגדרו כ"השפעה חיובית". מקרים שהכיסוי בהם בשנים 1999-2002 היה נמוך באופן מובהק מזה שבשנים 1996-1998 אך חזר בסוף הניסוי לרמת הכיסוי ההתחלתית הוגדרו כ"פגיעה והתאוששות". מקרים שהכיסוי בהם בשנים 1999-2002 היה גבוה באופן מובהק מזה שבשנים 1996-1998 אך חזר בסוף הניסוי לרמת הכיסוי ההתחלתית הוגדרו כ"עידוד זמני".

תוצאות

מגמות כלליות בכיסוי השיחים

נמצאו הבדלים מובהקים בין בתי הגידול השונים ($P<0.0001$) ובין השנים ($P<0.0001$) עבור אחוז הכיסוי הכללי של השיחים וכן עבור אחוז הכיסוי של שלושת מיני השיחים העיקריים בנפרד. בניתוח הכיסוי של כלל השיחים נמצא שהשפעת הרעייה בכל האתרים ובתי הגידול הייתה מובהקת ($P<0.0001$), אולם היה הבדל גדול בין המינים בתגובה לרעייה בבתי הגידול השונים (טבלה 1). בכל הצירופים של מין ובית גידול שהשפעת הרעייה בהם הייתה מובהקת, כיסוי השיחים תחת רעייה היה נמוך יותר מאשר ללא רעייה: הכיסוי המעוצה הכללי היה $16.5\pm 0.7\%$ לעומת $21.3\pm 0.8\%$ בהתאמה, כיסוי הסירה הקוצנית היה $9.5\pm 0.6\%$ לעומת $12.2\pm 0.7\%$ בהתאמה, וכיסוי הנואית הקוצנית היה $1.8\pm 0.2\%$ לעומת $4.1\pm 0.3\%$ בהתאמה (בממוצע רב-שנתי של כל בתי הגידול

מבנה חלקות המחקר וחתכי צומח

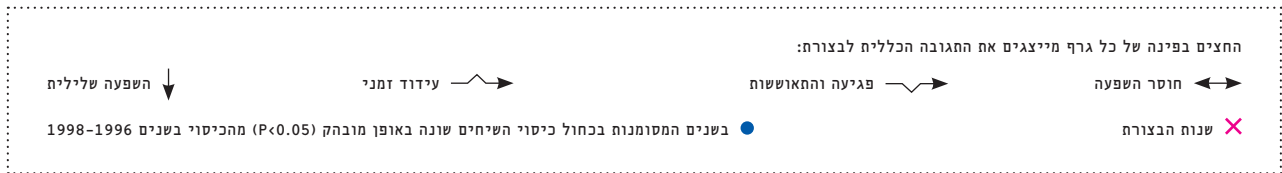
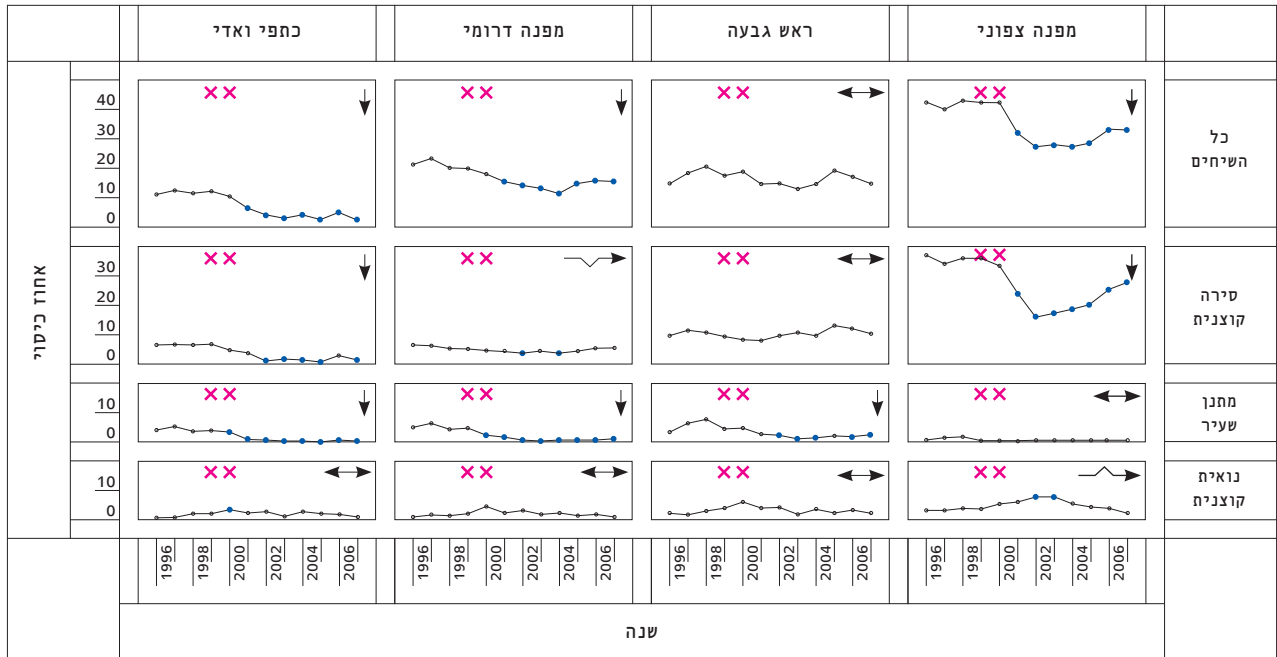
הניסוי נערך בשלושה אגני ניקוז שונים (אתרים) בשטח חוות המחקר. בכל אתר מיוצגים ארבעה בתי גידול שונים: מפנה צפוני, מפנה דרומי, ראש גבעה וכתף ואדי. בתי הגידול נבדלים ביניהם בחשיפה לקרינת השמש, בטמפרטורה, בכמות הנגר שהם מקבלים או מאבדים, וגם בסלעיות ובעומק הקרקע. בכל צירוף של אתר ובית גידול הוקמו 4 חלקות (סך הכול 48 חלקות). כל חלקה הייתה מורכבת משתי תת-חלקות: גדורה בגודל של 10×10 מטר ולצדה שטח מסומן בגודל דומה, שנמצא מחוץ לגדורה ופתוח לרעייה. הגדורות הוקמו בין השנים 1994-1996. למרות השוני בתאריך הקמתן לא נעשתה הבחנה בין הגדורות, מתוך הנחה שהבדל של שנה או שנתיים בגידור הוא קטן יחסית במחקר ארוך טווח. מתוך 48 חלקות מקוריות נבחרו 36 חלקות שההפרש בכיסוי השיחים בין תתי-החלקות בהן בשנת 1996 (תחילת הניסוי) לא עלה על 5% מסך הכיסוי הכללי. הבדלים גדולים יותר עשויים להעיד על שוני בתשתית החלקה (סלעיות, עומק וטיב הקרקע), ולכן נבחרו לניתוח חלקות שתנאי ההתחלה בהן היו דומים ככל האפשר. ניטור כיסוי השיחים נערך כל שנה בקיץ, בין השנים 1996 ו-2007. נתוני הכיסוי בחלקות התקבלו מחתכים קבועים באורך של 10 מטר, מסומנים ביתדות, בשיטת point transect. כל 10 ס"מ לאורך החתכים בדקנו אם קיים כיסוי מעוצה, ואם כן - לאיזה מין שיח הוא שייך. אחוז הכיסוי של כל מין מוצג ככיסוי באחוזים מכלל אורך החתך. בכל חלקה היו שני חתכים: אחד בתוך הגדורה (שטח ללא רעייה) ואחד מחוץ לה (שטח תחת רעייה).

ניתוח סטטיסטי

הניתוח הסטטיסטי נעשה באמצעות תכנת SAS 9.1. המשתנה התלוי היה הכיסוי היחסי של צומח מעוצה לאחר טרנספורמציה של \arcsin שהתאימה את נתוני הכיסוי להתפלגות נורמלית. נבדקו מודלים נפרדים למינים סירה קוצנית, מתנן שער ונואית קוצנית, ולכיסוי המעוצה הכללי (כולל קורנית מקורקפת). הניתוח הראשון היה ניתוח שונות רב-גורמי עם מדידות חוזרות (ANOVA with repeated measures). לשם כך הגדרנו "שנה" כגורם בדיד שרירותי שמגלם בתוכו את מכלול התנאים הסביבתיים שמאפיינים שנה ושיכולים להסיט את כלל המדידות של שנה מסוימת בכיוון מסוים. יחידת המדידה הייתה חלקה, מקננת (nesting) בתוך בית גידול ואתר. כל חלקה חולקה לשתי תתי-חלקות: עם רעייה ובלעדיה. ההשוואות בין בתי הגידול נעשו באמצעות מבחן Tukey ($\alpha=0.05$). השפעת הרעייה נבחנה במבנה של טיפולים מזווגים (matched pairs) בין חתכים בתוך הגדורה ומחוץ לגדורה.

קורנית מקורקפת הראתה תבנית פיזור חריג: היא נמצאה בשכיחות גבוהה במפנה הדרומי של אתר אחד, ובשאר האתרים

איור 2. מגמות ארוכת טווח בכיסוי כלל השיחים (כולל קורניח), סירה קוצנית, מתנן שעיר ונואית קוצנית בשנים 1996-2007 בבתי הגידול השונים



יותר מאשר ההשפעה של הרעייה. ברם, לא נמצאה אינטראקציה בין השפעת הרעייה להשפעת השנה, למרות ההבדלים הגדולים במשקעים בין השנים.

השפעת הרעייה

הפסקת הרעייה גרמה לעלייה של 4% בכיסוי המעוצה הכללי, אך היה הבדל בהשפעתה על מיני שיחים שונים. נואית קוצנית הושפעה יותר מאשר סירה קוצנית ואילו מתנן שעיר לא הושפע כלל מהפסקת הרעייה. נראה כי ההגנות הצורניות (כלומר הקוצניות) של הסירה הקוצנית והנואית הקוצנית יעילות פחות מההגנות הכימיות של המתנן השעיר, שהוא צמח רעיל [17].

השפעת הבצורת

התוצאות מראות שבצורת היא אכן גורם חשוב בדינמיקה של הצומח המעוצה. כיסוי השיחים הכללי ירד ברוב בתי הגידול בסקלת הזמן של הניסוי. התאוששות מהבצורת במשך שבע

פחות מ-1% אחוז הכיסוי של הנואית הקוצנית הראה מגמה של עלייה זמנית בכל בתי הגידול, ומגמה זו הייתה מובהקת במפנה הצפוני. מבין בתי הגידול, כתפי הוואדי והמפנה הדרומי הראו את הפגיעה החמורה ביותר בכיסוי המעוצה הכללי - ירידה ללא התאוששות, ואילו במפנה הצפוני הייתה מגמת עלייה באחוז הכיסוי בשנות המחקר האחרונות, אך אחוז הכיסוי לא חזר למצב שהיה בו לפני הבצורת (איור 2).

התגובה של אחוז הכיסוי לבצורת התאפיינה באיחור (lag) של שנה לאחר סיום הבצורת עבור המעוצה הכללי והסירה הקוצנית, ותגובה מיידיית בשנה השנייה לבצורת (2000) עבור נואית קוצנית ומתנן שעיר.

דיון

ממצאי המחקר מראים שגם לרעייה וגם לבצורת ישנה השפעה על אחוז הכיסוי של הצומח המעוצה, אך ההשפעה תלויה במין הצמח ובבית הגידול. השפעת הבצורת על אחוז הכיסוי הייתה גדולה

השנים שלאחריה, נמצאה רק אצל הסירה הקוצנית במפנה הדרומי ובאופן חלקי במפנה הצפוני.

ממצא מעניין נוסף הוא שהירידה בכיסוי הסירה הקוצנית בעקבות הבצורת התחילה שנה לאחר סיום הבצורת ונמשכה מספר שנים לאחר מכן, למרות ששנים אלו היו גשומות מהממוצע (איר 1). לעומת זאת, הירידה בכיסוי המתנן השעיר והעלייה בכיסוי הנואית הקוצנית החלו כבר בשנה השנייה לבצורת. הבדלים אלה בין השיחים בעיתוי הירידה בכיסוי וביכולת ההתאוששות לאחר הבצורת הם כנראה הסיבה העיקרית להיעדר קשר מובהק בין כמות המשקעים לשינוי בכיסוי הכללי. התופעה של תגובה מאוחרת שנמצאה אצל הסירה הקוצנית ניתנת להסבר באמצעות השערות של Manion [7]. לדבריו, ייתכן שלאחר עקה חמורה יכולים עצים להמשיך לדעוך במשך שנים לפני שהם מתים. הסיבה לדעיכה יכולה להיות פיזיולוגית (למשל, פגיעה במוליכות צינורות ההובלה), או היחלשות הגנות הצמחים ורגישות גדולה יותר למזיקים. ההשערה הזו קיבלה אישוש אמפירי במחקרים על תמותה של עצים [13, 18], אך ככל הידוע לנו לא נמצאה עד כה במחקרים על שיחים.

מיני השיחים הראו דפוסי השתנות שונים של הכיסוי בתגובה לבצורת בבתי גידול שונים. נראה שהתרחשות של מצבי תגובה שונים תלויה בשני גורמים עיקריים:

א. **מין השיח** – ישנם דפוסי התנהגות שחוזרים על עצמם בבתי גידול שונים בהתאם למין השיח. בעוד שהמתנן השעיר הראה ירידה בכיסוי בכל בתי הגידול, הסירה הקוצנית הראתה התאוששות בחלק מבתי הגידול והנואית הקוצנית הראתה אפילו מגמה של עלייה זמנית בכיסוי, שהייתה מובהקת בחלק מבתי הגידול. הבדלים בין המינים במאפיינים צורניים ופיזיולוגיים המשפיעים על משק המים של הצמח יכולים להסביר את השוני בתגובת מיני השיחים לבצורת [8], אולם במחקר זה לא נבדקו התכונות הללו.

ב. **בית הגידול** – שיחים בבתי גידול שונים הראו תגובה שונה לבצורת. המפנה הצפוני וכתפי הוואדי התאפיינו בירידה הגבוהה ביותר בכיסוי השיחים. בעוד שבמפנה הצפוני הייתה מגמה של התאוששות (בעיקר בכיסוי הסירה הקוצנית), בכתפי הוואדי – בית הגידול היצרני ביותר עבור העשבוניים [12] – לא נראתה התאוששות. באזורים צחיחים למחצה יצרנות גבוהה של בתי גידול היא לרוב תוצאה של פיזור מחדש (redistribution) של מים [26], ולכן ניתן להניח שכתפי הוואדי מקבלות תוספת נגר בשנים גשומות. אנו משערים שהשוונות הגדולה בתוספת הנגר בין השנים היא הגורם הראשי לפגיעה החמורה בכתפי הוואדי בשנות בצורת. ברם, כדי להבין את ההידרולוגיה השונה בין בתי הגידול יש צורך במחקרים נוספים.

כמו כן, ניתן להניח שחוסר ההתאוששות של הסירה הקוצנית בכתפי הוואדי בשנים הגשומות שלאחר הבצורת קשור לעיכוב בהתבססות של פרטים צעירים בעקבות תחרות עם עשבוניים [20]. לעומת זאת, ייתכן שבמפנה הצפוני שנמצא בו הכיסוי הגבוה ביותר של סירה קוצנית, פגיעת הבצורת בכיסוי נובעת מהחמרת עקת היובש בנקודות שאגירת המים בתשתית מוגבלת בהן, אך מתאפשרת התאוששות בשנים גשומות יותר בגלל מקור זרעים גדול יותר ומיעוט תחרות עם הצומח העשבוני ביחס לכתפי הוואדי.

רעייה ובצורת

השערה מקובלת גורסת שיש מתאם בין עמידות לרעייה ועמידות ליובש, בין היתר בשל העובדה ששתי העמידויות נובעות מתכונות דומות של התחדשות מהירה, למשל מרקמות יוצרות (מריסקטמות) בבסיס הצמח [9]. השערה חלופית מציעה שישנן תכונות שמקנות עמידות רק נגד רעייה או רק נגד בצורת [2]. התוצאות שלנו מחזקות את ההשערה השנייה, מפני שמתנן שעיר הראה בניסוי עמידות לרעייה אך לא לבצורת, ונואית קוצנית הראתה עמידות לבצורת אך לא לרעייה.

למרות ההנחה שלרעייה יש השפעה שלילית וחריפה יותר על הצומח בשנות בצורת בשל לחץ רעייה כבד יותר על הצמחים (ולכן מומלץ להקטין אותה בשנות בצורת) [10], ולמרות ההבדלים שנמצאו בתגובה של השיחים השונים לרעייה ולבצורת, לא נמצאו השפעות גומלין בין הרעייה לבין השנים עבור כיסוי כלל השיחים. כנראה שהסיבה לכך היא שהרכב החברה המעוצה לא השתנה בצורה מהותית בעקבות הרעייה, והסירה הקוצנית נשארה המין הדומיננטי בו.

לסיכום, תוצאות המחקר מעלות חשש באשר ליציבות המערכת האקולוגית בספר המדבר בצפון הנגב, וזאת בשל שינוי האקלים הצפוי להתרחש באזור. על פי המודלים לחיזוי שינוי אקלים במזרח הים התיכון יאופיין השינוי הזה בהקטנה של כמות המשקעים ובהגדלה של תכיפות הבצורות [4, 16]. אירועי בצורת תכופים עלולים לגרום לתמותה מְבֹדֶלֶת של מיני שיחים, להקטנת צפיפות כלל השיחים ולשינוי בהרכב כיסוי השיחים.

תודות

תודה לשמחה לבי־ידון על דיונים בתוצאות המחקר. תודה לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר, להנהלת ענף המרעה, ולקרן קיימת לישראל על מימון המחקר.

מקורות

- sustainability. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- [15] Puigdefábregas J. 1998. Ecological impacts of global change on drylands and their implications for desertification. *Land Degradation and Development* 9: 393-406.
- [16] Ragab R and Prudhomme C. 2002. Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: Prospective and challenges for the 21st century. *Biosystems Engineering* 81: 3-34.
- [17] Rizk AM, Hammouda FM, Ismail SE, El-Missiry MM, and Evans FJ. 1984. Irritant resiniferonol derivatives from Egyptian *Thymelaea hirsuta* L. *Cellular and Molecular Life Sciences* 40: 808-809.
- [18] Saurez ML, Ghermandi L, and Kitzberger T. 2004. Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus* - site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology* 92: 954-966.
- [19] Schlesinger WH, Reynolds JF, Cunningham GL, Huenneke LF, Jarrell WM, Virginia RA, and Whitford WG. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247: 1043-1048.
- [20] Seifan M, Tielbörger, K, and Kadmon R. 2010. Direct and indirect interactions among plants explain counterintuitive positive drought effects on an eastern Mediterranean shrub species. *Oikos* 119: 1601-1609.
- [21] Shachak M, Boeken B, Groner E, Kadmon R, Lubin Y, Meron E, Ne'eman G, Perevolotsky A, Shkedy Y, and Ungar ED. 2008. Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *BioScience* 58: 209-221.
- [22] Sternberg M, and Shoshani M. 2001. Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: Comparison of a semiarid and an arid site in Israel. *Ecological Research* 16: 335-345.
- [23] Talmon Y, Sternberg M, and Grünzweig JM. 2011. Impact of rainfall manipulations and biotic controls on soil respiration in Mediterranean and desert ecosystems along an aridity gradient. *Global Change Biology* 17: 1108-1118.
- [24] Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, and Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- [25] Yair A and Kossovsky A. 2002. Climate and surface properties: Hydrological response of small arid and semi-arid watersheds. *Geomorphology* 42: 43-57.
- [26] Yair A, and Shachak M. 1987. Studies in watershed ecology of an arid area. In: Berkofsky L and Wurtele MG (Eds). *Progress in desert research*. Totowa, NJ: Rowman and Littlefield.
- [27] Zaady E, Groffman P, and Shachak M. 1996. Litter as a regulator of N and C dynamics in macrophytic patches in Negev desert soils. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 39-46.
- [1] פרבולוצקי א ולנדאו י. 1988. שיפור ופיתוח ענף הצאן במגזר הבדווי בנגב הצפוני: חוות ההדגמה לבדווים - להבים. דו"ח מקצועי 1988-1982, מנהל המחקר החקלאי, בית-דגן.
- [2] Cingolani AM, Noy-Meir I, and Diaz S. 2005. Grazing effects on rangeland diversity: A synthesis of contemporary models. *Ecological Applications* 15: 757-773.
- [3] Cramer W, Bondeau A, Woodward FI, Prentice IC, Betts RA, Brovkin V, Cox PM, Fisher V, Foley JA, Friend AD, Kucharik C, Lomas MR, Ramankutty N, Sitch S, Smith B, White A, and Young-Molling C. 2001. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: Results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology* 7: 357-373.
- [4] Dai A. 2011. Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2: 45-65.
- [5] de Chazal J and Rounsevell MDA. 2009. Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: A review. *Global Environmental Change* 19: 306-315.
- [6] Lund HG. 2007. Accounting for the world's rangelands. *Rangelands* 29: 3-10.
- [7] Manion PD. 1981. *Tree disease concepts*. NJ: Prentice Hall.
- [8] McDowell N, Pockman WT, Allen CD, Breshears DD, Cobb N, Kolb T, Plaut J, Sperry J, West A, Williams DG, and Yezpe EA. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* 178: 719-739.
- [9] Milchunas DG, Sala OE, and Lauenroth WK. 1988. A generalized model of effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 132: 87-106.
- [10] Milton SJ, Dean WRJ, du Plessis MA, and Siegfried WR. 1994. A conceptual model of arid rangeland degradation. *BioScience* 44: 70-76.
- [11] Noy-Meir I. 1973. Desert ecosystems: Environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-41.
- [12] Osem Y, Perevolotsky A, and Kigel J. 2004. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: Interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *Journal of Ecology* 90: 936-946.
- [13] Pendersen BS. 1998. The role of stress in the mortality of Midwestern oaks as indicated by growth prior to death. *Ecology* 79: 79-93.
- [14] Perevolotsky A. 1999. Natural conservation, reclamation, and livestock grazing in the northern Negev: Contradictory or complementary concepts? In: Hoekstra TW and Shachak M (Eds). *Arid lands management: Toward ecological*

