

## השפעתה של נמלת הקציר על הקרקע והצמחייה בצפון הנגב

עמיר מור-מוסרי<sup>[1]</sup>, \*סטאפן לואי<sup>[2]</sup>,  
פועה בר (קוחיאל)<sup>[1]</sup> ואריה בודובסקי<sup>[3]</sup>

<sup>[1]</sup> המחלקה לגאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב  
<sup>[2]</sup> המכונים לחקר המדבר, ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב  
<sup>[3]</sup> מו"פ יהודה

\* amir.mussery@gmail.com



## תקציר

לממשק של מערכת אקולוגית שאיננו תואם לתנאי הסביבה, כגון רעיית יתר באזור צחיח, יש השפעות הרסניות על המערכת לטווח הזמן הקצר והארוך. שיקום יעיל בטווח זמן קצר יחסית דורש התערבות של האדם על־ידי שילוב אורגניזם בעל יכולת "הנדוס סביבתי" יחד עם עידוד של ריבוי או התפשטות של המינים המקומיים. מרבית המחקרים באזורים צחיחים התמקדו בעיקר בשיחים כמהנדסי סביבה ופחות בהשפעת אורגניזמים אחרים, כמו חרקים, על הסביבה. במחקר הנוכחי השווינו את השפעת קני שני מינים של נמלת הקציר, השחורה (*Messor ebeninus*) והחולית (*Messor arenarius*), על כתמי נוף בשטחי שיחים במדבר (בתת ספר ערבית). השטחים שנבדקו נמצאים באזור חירן (מערבית לערד, בצפון־מזרח הנגב), בשטח שיש בו רעיית יתר ובשטח בעל רעייה מתונה שהיה חשוף בעברו לרעיית יתר. תוצאות המחקר מראות שלנמלי הקציר יש השפעה משמעותית על פוריות הקרקע ועל הצמחייה, שניכרה לא רק בשנה גשומה אלא אף בשנת בצורת. תוצאות המחקר מצביעות על הפוטנציאל של נמלים ככלי ממשק לשיקום שטחי מדבר פגועים.

מילות מפתח: אורגניזמים כמהנדסי סביבה · מאפיינים מיקרו־טופוגרפיים · מדבר · פוריות קרקע · רעיית יתר · רעייה מתונה · *Messor ebeninus* · *Messor arenarius*

## מבוא

בני שיח, בעוד שמספר קני הנמלים וגודלם (הנטושים והפעילים) נשארו קבועים, ובחלק גדול של השטחים אף נצפתה עלייה בגודל הקנים ובכיסוי שלהם. לשם בחינה וכימות של השפעת קני נמלת הקציר (השחורה - *Messor ebeninus* והחולית - *Messor arenarius*)<sup>[38]</sup> על המערכת האקולוגית בצפון הנגב נבדקו מספר מדדים אקולוגיים בקנים, בכתמי השיח ובתווך הפתוח שבין הקנים ובני השיח. המדדים שנבדקו היו ביומסת עשבוניים, גודל הקנים ומספרם<sup>[23]</sup>, תאחיזת מים וריכוז חומר אורגני וחומרי הזנה (nutrients) בקרקע.

בשטח המחקר נצפו גם פרטים מהמין נווטת כתומה (*Cataglyphis lividus*), אך עקב נדירותו היחסית למינים נמלת הקציר השחורה והחולית, אין התייחסות אליו במאמר זה<sup>[42]</sup>. מטרת המחקר היו לבדוק את השפעת הפיזור של קני נמלת הקציר בבתת ספר ערבית, לכמת את השפעת הקנים על המערכת האקולוגית במונחים של תפורות בשטח, פוריות ויצרנות של צמחים עונתיים, ולהעריך את פעילותן כמהנדסי סביבה באזורים עם רעיית יתר ותחת רעייה מתונה.

## שיטות

### שטח המחקר

המחקר נעשה באזור חירן (31°19'34"N, 34°59'04"E), מצפון ליישוב הבדואי חורה ומדרום ליער יתיר בצפון הנגב. האזור גבעי (גובה עד 250 מטר מעל פני הים) והקרקע חולית־חרסיתית<sup>[41]</sup>. האקלים מדברי: כמות הגשם השנתית הממוצעת נעה בין

לרעיית יתר יש השפעה שלילית על המערכת האקולוגית בנגב<sup>[28]</sup> ובאזורי מדבר אחרים בעולם<sup>[4]</sup>. השפעה זאת מתבטאת בירידה במגוון מיני הצומח והחי<sup>[23]</sup>, בפגיעה בתכונות הקרקע<sup>[16]</sup>, בשינוי המאפיינים של יחידות שטח קטנות בעלות מאפיינים מיקרו־טופוגרפיים או צמחים אופייניים המובדלות מסביבתן מבחינת מבנה, גודל ופיזור בשטח נתון<sup>[37]</sup>, ואף בפגיעה במאפיינים המיקרו־טופוגרפיים של השטח<sup>[1]</sup>. במצבים קיצוניים - כמו באזורים נרחבים בצפון הנגב<sup>[28]</sup> - שיקום השטח אינו יכול להסתמך על תהליכים טבעיים, ומצריך את התערבות האדם על־ידי שינוי שיטת הממשק<sup>[2]</sup>.

השיטה המקובלת לשיקום שטח שנפגע מרעיית יתר מבוססת על תיחום השטח הפגוע ומניעת רעייה למשך מספר שנים<sup>[6]</sup>. שיטה זו בעייתית מכמה סיבות: הזמן הרב הנדרש לשיקום, עלותה הגבוהה והתלות הרבה של התושבים באזורים אלה ברעייה כמקור פרנסה<sup>[36]</sup>. גישה משלימה המאפשרת האצה של תהליכי השיקום הטבעיים מבוססת על שימוש ב"מהנדסי סביבה" (ecosystem engineer), אורגניזם שמשנה, יוצר או הורס בית גידול, ומשפיע ישירות או בעקיפין על זמינות משאבים למינים אחרים על־ידי יצירת שינוי פיזיקלי בגורמים ביוטיים ואביוטיים<sup>[19]</sup>.

מושג זה נחקר בעיקר בהקשר של צמחים (בדגש על בני שיח)<sup>[18, 31]</sup>, ובמידה מועטה בהקשר של אורגניזמים מקבוצות טקסונומיות אחרות (כגון טחבנים<sup>[34]</sup>, דרבנים<sup>[45]</sup> ועדרי צאן<sup>[16]</sup>,<sup>[37]</sup>). תצפיות מקדימות שערכנו בצפון הנגב בשטחים החשופים לרעיית יתר בשנים עוקבות הראו היעדר התבססות חדשה של

פוריותה על בסיס של קיום רעייה בת־קיימא (בהתאם לעקרונות של Swanson [39]). לאחר הקמתן נצפה בשטחי הרעייה של חוות אלה שיקום הדרגתי בפוריות הקרקע, בעוד שבשטחים בסביבתן המשיכה רעיית יתר מלווה בירידה משמעותית של כסות הצומח [26] ובהאצת סחף הקרקע.

לצורך בחינת השפעתן של הנמלים על הקרקע והצומח בשטחים החשופים לרעיית יתר ותחת רעייה מתונה, נבחרו שני שטחי בתה מייציגים בגודל 15 מטר x 15 מטר, שכי-25% מהם מכוסים סלעים, כולם בעלי מפנה דרומי ומגוון צמחים דומה, בהם בני שיח בעיקר ממוצא אירנו־טורני (ערבתיים) וסֶהְרו־ערביים ונציגים בודדים של המין סירה קוצנית (ממוצא ים תיכוני). שטח אחד התאפיין ברעייה מתונה ונמצא בתחומי "חוות יתיר", והשטח השני נמצא 200 מטר מזרחית לו מחוץ לתחומי החוות, באזור שהתאפיין ברעיית יתר.

הגדרת השטח כמתאפיין ברעיית יתר נעשתה על סמך תצפיות ומדידות רבות שונות באזור בטרם המחקר ובהתאם לשיחות שנערכו עם בעלי החוות באזור, שהושאו לתיאור של Olsvig-Whittaker ואחרים [28].

תצפיות נוספות נאספו בשנת 2014 מחלקות משטח מיזם ואדי עתיר, המצוי 200 מטר מדרום לחורה, 7 ק"מ דרום־מזרחית לשטח המחקר בחוות יתיר. השטח סבל מסחף קרקע רב, ושוקם בחלקו ב־2012 על־ידי הקמת לימנים (שטחים נמוכים ושטוחים לאגירת המים והסחף) [35]. חלק ממנו נשמר מעיבוד וחלק נזרע בחיטה [27]. צמידות יחידות השטח תחת הניהול השונה אפשרה בחינה עקבית של התנחלות נמלי הקציר באזורי מדבר מופרים החל בהפרה ועד לשיקום.

הגדרת כתמי הנוף

אזורי בתת ספר ערבתיית מתאפיינים בכתמי נוף [14], כולמר ביחידות שטח קטנות בעלות מאפיינים מיקרו־טופוגרפיים או צמחים אופייניים, המובדלות מסביבתן. בתצפיות בשנים הקודמות למחקר בשטחים המקיפים נוכחנו בדמיון הרב בין המאפיינים המיקרו־טופוגרפיים של כתמים בנוף המכילים קני נמלים לאלה המכילים צומח רב־שנתי, ובשונות הקיימת בין המאפיינים של שני סוגי הכתמים הללו לבין אלה של התווך המקיף. מסיבה זו נבדקו השפעת הקנים והשפעת הצומח הרב־שנתי באותם כלים [38]. לשם בחינת כתמי הנוף השונים והשוואתם לסביבה המקיפה הוגדרו בשני שטחי המחקר (רעייה מתונה ורעיית יתר) מאפייני הכתמים על בסיס הנקודות הבאות:

א. שטח תחוח עם מאפיינים מיקרו־טופוגרפיים בולטים ומובדלים מהסביבה (מוגבהים או מונמכים).

ב. שטח ללא הפרות קרקע כתוצאה מפעילות אדם או בעלי חיים (חפירות מכרסמים וכדומה) מלבד פעילות נמלים.

150 ל־200 מ"מ, הטמפרטורה בעונה הקרה (דצמבר-פברואר) 8.1-19.2 מעלות צלזיוס, ובעונה החמה (יוני עד אוגוסט) 21-34 מעלות (נתוני השירות המטאורולוגי).

המחקר המוצג הוא חלק מלימוד ארוך טווח על בתות ספר ערבתיית באזור בין 2006 ל־2014, שכלל תצפיות של הכותבים ובעלי החוות. המדידות הקשורות למחקר המוצג לעיל נערכו בעיקרן בין 2008 ו־2010. שנת 2009 מייצגת שנת בצורת

על קצה המזלג

- \* לרעיית יתר יש השפעה שלילית על המערכת האקולוגית בנגב ובאזורי מדבר אחרים בעולם.
- \* נמלי הקציר כ־מהנדסות סביבה עשויות לסייע בשיקום שטחי שיחים בתהליכי התדרדרות.
- \* התיישבות נמלים יוצרת כתמים עשירים במשאבים, המגדילים את הייצור הראשוני של ביומסת העשבוניים.
- \* יחסי המשוב בין שיחים לנמלים מגדילים את פוריות המערכת האקולוגית.
- \* לנמלי הקציר פוטנציאל לתרום לשיקום שטחים מדבריים פגועים.

המערכת

בהשוואה ל־2008, למרות כמויות הגשם הדומות - 155 ו־159 מ"מ לשנה בהתאמה - מאחר שהיא התאפיינה בפיזור גשמים לא אחיד לאורך העונה, דבר שהתבטא בירידת מרבית כמויות הגשם בתחילת העונה ובסופה, לעומת הפיזור האחיד יחסית בשנת 2008. לאורך עונת הגשמים ב־2010 נמדדו 237 מ"מ (נתוני השירות המטאורולוגי).

מבחינת הצומח האזור מוגדר כבתת ספר ערבתיית [14], שהייתה נתונה עשרות שנים לרעיית יתר לא מבוקרת עד [37], הדבר מתבטא בכיסוי צמחי נמוך (60-70 בני שיח לדונם), ובעקבות זאת אף בסחף קרקע ובהיווצרות חריצים (rills) וערוצים מתחתרים (gullies) [1, 23]. בשנים 1992-1994 הוקמו באזור מספר חוות בודדים למטרות שימור הקרקע מפני שחיפה והעלאת



השפעת נמלי קציר על שדה דגנים באזור צומת להב. אזורים של צמיחה גבוהה (מעין כריות) מעידים על משק משופר של מים ומינרלים בקן ובסביבתו | צילום: פועה בר

נתוני כתם שהכיל יותר מקבוצת התייחסות אחת הוכנסו לניתוח נתוני כל אחת מהקבוצות הבונות את הכתם. לדוגמה, בכתם נוף בעל צירים של 0.5 ו-0.6 מטר (אורכי ורוחבי), שהכיל קן ושני שיחי מתנן, שויך לקנים ולבני שיח שטח של 0.24 מ"ר  $(\pi \times 0.5/2 \times 0.6/2)$ . במסגרת ניתוח הנתונים לא הייתה התייחסות למספר הפרטים מאותה קבוצת התייחסות, אלא רק לנוכחותה בכתם הנוף. ממוצע של הערכים המשויכים לכל קבוצת התייחסות ייצג את השפעתה על הסביבה, בהנחה שככל שערך זה גדול יותר, כך השפעתה של קבוצת התייחסות על הסביבה רבה יותר [26]. ניתוח נתונים זה אפשר להעריך מדד נוסף המבטא את תמיכתה של כל קבוצת התייחסות בהטרוגניות של כתמי הנוף שהיא נמצאת בהם. מדד זה חושב על ידי בחינת מספר קבוצות התייחסות בכל כתם נוף ושיוך מספר זה לקבוצות השונות שנמצאו (מדד שהוגדר כ'הטרוגניות'). לדוגמה, בקן שמצוי בו דרדר קרומי שויך ערך הטרוגניות של 2 לקבוצת הקנים והעשבונים הרב־שנתיים, בעוד שלבן שיח בעל מופע יחידאי בכתם נוף נבדק, ניתן ערך הטרוגניות של 1. בשלב הבא חושבו לכל קבוצת התייחסות מספר המופעים שערך ה'הטרוגניות' שלהם שווה 2 או גדול ממנו, והם יכוננו להלן מופעים 'מורכבים'. התוצאה ניתנה כאחוז של כתמי הנוף ה'מורכבים' מכלל המופעים של קבוצת התייחסות.

ג. שטח המכיל קן נמלים או צמחים רב־שנתיים (שיחים, בני שיח ועשבונים רב־שנתיים - גאופיטים והמיקריפטופיטים) או צמחים חד־שנתיים. משום גודלם של הצמחים העונתיים ונופם הירוק בתחילתו של הקיץ הנחנו שיש להם השפעה דומה לזאת של הצמחים הרב־שנתיים על סביבתם [21]. האורגניזמים בכתמי הנוף חולקו לשלוש קבוצות בהתאם לסיווגם הביולוגי: קני נמלים, להלן קנים; שיחים ובני שיח, להלן בני שיח (כללו בעיקר: מתנן שער *[Thymeleae hirsuta]*, קזוח תלת־קרני *[Pituranthos triradiatus]*, נואית קוצנית *[Noaea mucronata]* וסירה קוצנית *[Sarcopoterium spinosum]*); עשבונים רב־שנתיים (עירית גדולה *[Asphodelus ramosus]*, קיפודן מצוי *[Echinops adenocaulus]* ודרדר קרומי *[Centaurea hyalolepis]*). נוסף על כך הוגדר התווך שבין כתמי הנוף. יש לציין, שחלק מכתמי הנוף הכילו מספר קבוצות התייחסות.

השפעת הקנים על המאפיינים המיקרו־טופוגרפיים של בתת הספר הערבית ועל מספר קבוצות התייחסות בתחומם בשלב ראשון, נמדדו הציר האורכי והרוחבי של כתם הנוף, ושטחו חושב על ידי הצבה במשוואת האליפסה [25]. הערכת גודל הקנים התבססה על השטח שהפירה פעילות הנמלים (מיקומם של חורי כניסה, שפכי קרקע ונשר וכד').



במחקר נמצא שלנמלי הקצייר יש השפעה משמעותית על פוריות הקרקע ועל הצמחייה | צילום: עמיר וינשטיין ©

דגימת הביומסה של הצמחים העונתיים

המדד המאפיין ביותר לזיהוי תהליכי מדבור או תהליכי שיקום באזורי מדבר, הוא כושר הייצור הצמחי, בעיקר הביומסה של הצמחים העונתיים [23]. דגימות אקראיות של צמחים עשבוניים מהנוף נקצרו במרץ 2010 מתוך מלבנים בגודל 30 x 20 ס"מ משטחי הקנים וכתמי בני השיח (כתמי נוף שהופעתן של שתי קבוצות ייחוס אלה בהם הייתה יחידאית) ומהתווך [32], בסך הכול 15 דגימות (חמש מכל יחידת נוף). הדגימות יובשו ב-60 מעלות למשך 48 שעות ונשקלו. המשקל בוטא בק"ג למ"ר.

דגימות הצמחים והקרקע נלקחו משולי הקנים כדי למזער את הפגיעה בהם [43]. כמו כן, במחקר זה לא הייתה הבחנה בין קני נמלים מאוכלסים ונטושים, מתוך הנחה שקיימות השפעות זהות על הסביבה בשני המקרים [13].

מלבד השוואת ממוצעי הביומסה של הצמחים העונתיים עבור כל יחידת נוף, נעשה שימוש בערכים שהתקבלו לחישוב התרומה של קני הנמלים ובני השיח לכלל בתת הספר על-ידי כפל באחוז כיסויים מכלל השטח. לדוגמה, תרומת בני השיח לביומסה העונתית בשטח המחקר ( $Shrubs_{(HerbBM.Donation)}$ ) חושבה בצורה זו (הערכים מבוטאים בק"ג לדונם):  $Shrubs_{(HerbBM.Donation)} = (Shrubs_{(HerbBM)} - Matrix_{(HerbBM)} \times Shrubs_{(Cover)} \times 1000)$

הפחתת ממוצע הביומסה העונתית בכתמי השיח מהממוצע שהתקבל בתווך: ערכי ה- $Shrubs_{(HerbBM)}$  וה- $Matrix_{(HerbBM)}$  בהתאמה (ריכוזים בק"ג למ"ר). הכפלה באחוז כיסוי הכתמים המכילים בני שיח מכלל הכתמים הכפלה ב-1,000 לייצוג התוצאה עבור שטח של דונם (מ"ר).

דגימה ובדיקות קרקע

באפריל 2009 נאספו בשטח הרעייה המתונה שלוש דגימות מכל יחידת נוף. הדגימות נאספו מ-20 הס"מ העליונים של הקרקע, המייצגים את בית השורשים של מרבית הצמחים העונתיים [26]. בסך הכול נאספו 12 דגימות קרקע בנות כחצי ליטר מהתווך, משולי הקנים ומכתמי בני השיח (כתמי נוף שהופעתן של שתי קבוצות ייחוס אלה בהם הייתה יחידאית). הדגימות הועברו סמוך למועד הדגימה למעבדות לשירות שדה בגילת לבדיקות ריכוזי חומרי הזנה בעלי חשיבות למערכת האקולוגית המדברית (פחמן אורגני [11], חנקן כללי [5] וזרחן זמין  $P-PO_3$  [47]) ולאגירת המים בקרקע - קיבול שדה (field capacity [30]).

מלבד השוואת ממוצעי מדדים אלה בין יחידות הנוף נעשה שימוש בערכים המתקבלים לחישוב התרומה של הקנים ובני

המורכבים היו 25%.

קשר חיובי נמצא בין גודל קני הנמלים לבין חופת חלק ממיני השיחים, כגון מתנן שעיר (איור 10) ומספר בני השיח שבתוכם (איור 11)

מאפייני הצומח העונתי בכתמי הנוף השונים

בהערכה חזותית נמצא שבניגוד למגוון מיני העונתיים בכתמי בני השיח והעשבונים הרב־שנתיים, קני הנמלים התאפיינו בעיקר במינים ממשפחת הדגניים (Gramineae), כדוגמת מלעניאל מצוי (*Stipa capensis*), בן חיטה מעובה (*Aegilops crassa*) ובן חיטה מדברי (*Aegilops kotschy*), בעוד שביתר הכתמים רק כשליש מהעונתיים היו דגניים. נוסף לשוני בהרכב הצמחייה, נמצא שהצמחים בקני הנמלים (הפעילים והנטושים) גדולים ומפותחים יותר מאלה שבכתמים האחרים (איור 2).

בחישוב כלל הביומסה נמצא שבקני נמלים יש כמות גבוהה פי שישה (ובמובהקות סטטיסטית של  $\alpha=0.05$ ) בהשוואה לתוון ולכתמי הנוף המכילים את בני השיח (איור 3).

השפעת הקנים על הקרקע של בתת הספר הערבית

באיור 4 ניתן לראות כי לקנים ערך קיבול שדה הנמוך במעט בהשוואה לכתמי הנוף המכילים את בני שיח, וגבוה בכ־5% מזה המצוי בתוון. בקנים נמצא שהחומר האורגני, הזרחן וכמות החנקן הכללי באביב היו גבוהים מהערכים שנמצאו בתוון, ושווים למה שנמצא בכתמי הנוף של בני השיח או גבוהים ממנו במקרה של הזרחן (איורים 4 ב-ד).

למרות ההבדלים הניכרים, לא נמצאה מובהקות סטטיסטית ( $\alpha=0.05$ ), דבר המוסבר במספר הדגימות המועט שנבע ממגבלות המחקר.

דיון

מטרתו העיקרית של המחקר הייתה להעריך את יכולת ההנדוס הסביבתי של קני נמלים בשטחי שיחים בצפון הנגב [7, 10]. נוסף על השפעת הקנים על סביבתם הפנימית המתוארת במחקרים אחרים [6, 7], ועל היותם מדדים ביולוגיים לפוריות הסביבה [8], נמצא שיש להם השפעה של ממש על הסביבה המקיפה אותם. כימות ההיבט המרחבי־אקולוגי בוצע על־ידי מדידות גודל ומספר של קני הנמלים בשטח החשוף לרעיית יתר ובשטח תחת רעייה מתונה (שבעבר היה חשוף לרעיית יתר). הנחנו שההבדל בין השטחים הללו יצביע על הדינמיקה של הנמלים, מבחינת התבססותן והרחבת קניהן במעבר ממצב של רעיית יתר לניהול השטח על בסיס רעייה מתונה, כמתואר בספרות לגבי בני שיח [29]. ההשוואה בין השנים השונות יכולה לרמז על הדינמיקה תלוית האקלים, וההשוואה לכתמי בני השיח נותנת נקודות ייחוס לדינמיקה זאת. ניתן להבחין שבשטח

השיח לכלל בתת הספר על־ידי כפל באחוז כיסויים מכלל השטח. לדוגמה, תרומת הקנים להעלאת כמות הזרחן בשטח המחקר ( $Nest_{(p,Donation)}$ ) חושבה בצורה זו (גרם לדונם):

$$Nest_{(p,Donation)} = [(Nests_{(p)} - Matrix_{(p)}) \times Nests_{(Cover)}] \times 0.2 \times 1200 \times 10^3 / 10^3$$

בסיס הנוסחה: הפחתת ממוצע ריכוז הזרחן בקני הנמלים מהממוצע שהתקבל בתוון - ערכי  $Nest_{(p)}$  ו־ $Matrix_{(p)}$  בהתאמה (ריכוזים במ"ג לק"ג קרקע) ולאחר הכפלה באחוז כיסוי הקנים מכלל השטח  $Nests_{(Cover)}$ .

התאמת יחידות: הכפלה ב־0.2 (עומק בית השורשים של העונתיים, שבו צפויה עיקר התרומה של קבוצות הייחוס לפוריות בבית הספר הערבית, יחידות במ'). הכפלה ב־1,200 משקל סגולי של אדמה יבשה ('ק"ג למ"ק). הכפלה ב־ $10^3$ , לייצוג התוצאה עבור שטח של דונם ('ח' מ"ר). חלוקה ב־ $10^3$ , לייצוג התוצאה בגרמים.

המשקל הסגולי של הקרקע חושב כממוצע משקלים לאחר ייבוש של חמש דגימות קרקע של חצי ליטר ב־100 מעלות למשך 12 שעות [32].

ניתוח סטטיסטי

לבחנית המובהקות הסטטיסטית להבדלים בין התוצאות שהתקבלו ביחידות הנוף השונות בוצע מבחן ANOVA,  $\alpha=0.05$  בתוכנה JMP® ver. 5. לשם ניתוח הקשר בין מדדים שונים ומקדם הרגרסיה ( $r^2$ ) בוצע שימוש ב־EXCEL® ver. 10.

תוצאות

השפעת הקנים על המאפיינים המיקרו־טופוגרפיים של בתת

הספר הערבית ועל קבוצות ההתייחסות האחרות כבר בתצפיות המקדימות למחקר ניתן היה להבחין בתפוצה הרבה של הקנים בשטח הרעייה המתונה בהשוואה ליתר כתמי הנוף. אישוש לתצפיות אלה מוצג באיור 1, המדגים תפרוסת הגבוהה ב־50% של הקנים מבני השיח בשטח זה (40% ו־25% בהתאמה, איור 1) וכן את גודלם הרב בהשוואה לכתמי הנוף המכילים את קבוצת הייחוס עשבונים רב־שנתיים ב־2008 (ב־2009, שנת הבצורת, התקבלו ערכים דומים, איור 1). נוסף על כך, ניתן להבחין שבשטח רעיית היתר נמצאה תפרוסת יחסית דומה של כתמי השיח ושל קני הנמלים. בהשוואה בין השנים השונות, נמצא שקיימת ירידה מובהקת בגודלי כתמי השיח וקני הנמלים בין השנים 2008 ו־2009 (איור 1) בשטח הרעייה המתונה. בשטח רעיית היתר שמרו שתי קבוצות הכתמים על גודלם הקטן בין השנים השונות (איור 1).

באיור 2 ניתן רמז נוסף לתרומתן של הנמלים למגוון האקולוגי בתחומי קניהן, בכך ש־75% ממופיעיהן היו מורכבים (כלומר, נמצאו קבוצות ייחוס נוספות), בעוד שאצל כתמי בני השיח המופיעים





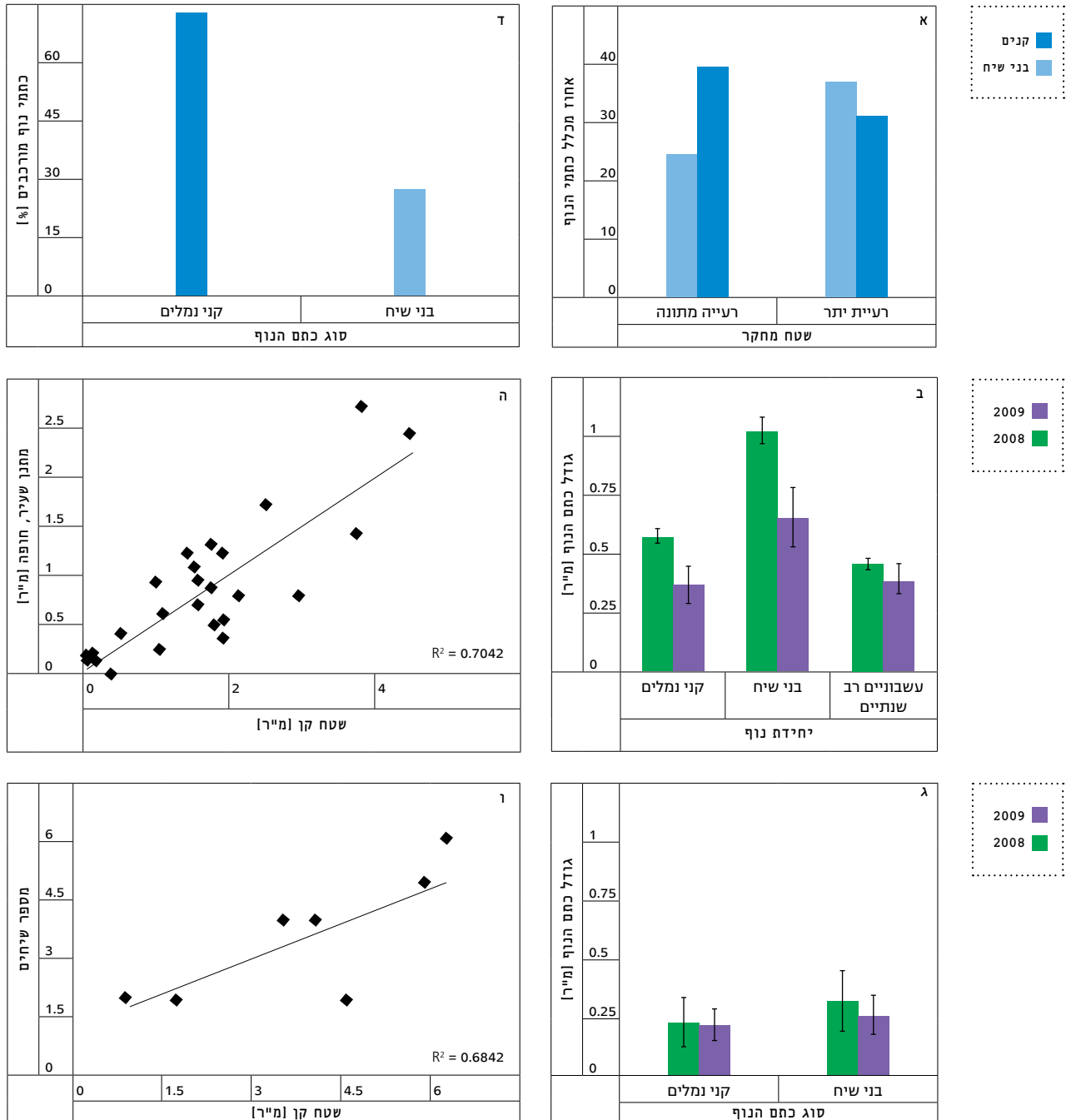
לשיטה המקובלת לשיקום שטח שנפגע מרעיית יתר - תיחום השטח הפגוע ומניעת רעייה למספר שנים - מגבלות רבות. במחקר נבחנה גישה המאפשרת האצת תהליכי השיקום הטבעיים | צילום: עמיר מורמוסרי

שמונע את התבססות הקנים [17]. השפעתן החיובית של הנמלים על סביבתן ניכרת גם במספר הרב של קני נמלים בכתמי הנוף המורכבים בהשוואה לכמות המועטה יותר של השיחים בכתמי הנוף המורכבים. כלומר, הנמלים הן "מארחות" טובות יותר לקבוצות ביולוגיות רבות נוספות בהשוואה לבני השיח [26]. אחד הגורמים המגבילים ביותר של תפקוד המערכת האקולוגית המדברית הוא יכולת שימור המים, שחיונית עקב אי-סדירות המשקעים (מבחינת כמותם ופיזורם), ומאפיינת אזורי מדבר [44]. השפעתן של הנמלים על מאפיין זה הודגמה בערכי קיבול שדה דומים בקנים ובכתמי בני השיח (וגבוהים בכ-5% מאלה של התווך שבין הכתמים), על-ידי הגדלת השטח היחסי שמתפקד כמשמר מים באזורים צחיחים [22]. נוסף על כך, הימצאות חומרי הזנה בריכוז גבוה (אף בהשוואה לכתמי השיח) בשילוב נתוני קיבול השדה מדגישה את חשיבות הקנים כמבלעים לשימור מים ולשימור חומרי ההזנה הנאספים מהמקורות מסביב במשך השנה (התאוריה מבלע-מקור [24]) ומפעילות הנמלים בקן [3]. לאחר הגשמים מחלחלים חומרים אלה בדיפוזיה אופקית בתת-הקרקע לכל השטח מסביב [24]. בהסתמך על התאוריה 'מבלע-מקור' ועל התוצאות משטח

החשוף לרעיית יתר מספר הקנים היה דומה לזה שבכתמי בני השיח, אך לאחר הורדת לחץ הרעייה חלה התרבות מהירה של קני הנמלים (שתרמה להתרבות העשבונים בשטחי הקנים). נוסף על כך, עמידותם של קני הנמלים לתנאי הסביבה ניכרת בשמירה על גודלם ועל מספרם בשטח הנתון לרעיית יתר אף בשנת בצורת, כמו זו שהייתה ב-2009 (בהשוואה ל-2008) (איור 1ב), ובירידה מתונה בגודל הקנים בשטח שנתון לרעייה מתונה (איור 1ג). הערכת גודל הקנים התבססה על הפרות הקרקע החיצוניות של הנמלים (שפכי קרקע [nests' soil dumps], שפכי שלף וחורי כניסות) ולא לפי סך השטח שתופסים התעלות וחדרי הקן, שמוערך כגודל בהרבה [40], כך שסביר שההשפעה על הסביבה רחבה יותר מהמתואר לעיל. קשרים אקולוגיים נוספים בין קני הנמלים לסביבה הצמחית אותרו בין גודל קני הנמלים למספר שיחי המתנן ולגודל חופתם. אף על פי שהקשר המתואר אינו מצביע ישירות על קני הנמלים כגורם המשפיע על שיחי המתנן, התצפיות המתוארות ואחרות שנאספו מאוחר יותר מאזורים אחרים, מצביעות על קני הנמלים כגורם המשפיע על הצמיחה בתחומי הקנים. קשר דומה תיארו Nicklen ו-Wagner [43]. יש להדגיש שנמצאו בני שיח שמתחתם לא היו קני נמלים, כגון הקוזח התלת-קרני, עובדה המוסברת בריכוז האלקלואידים בצמח

**איור 1.** ההשפעה המרחבית של כתמי הנוף השונים על המאפיינים המיקרו־גאוגרפיים של בית הגידול

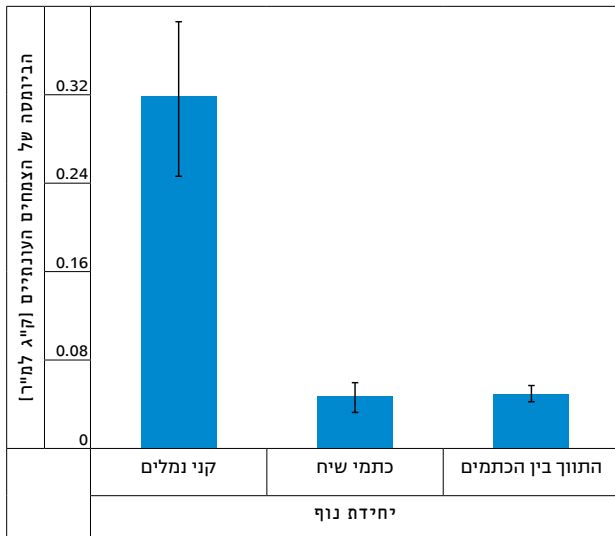
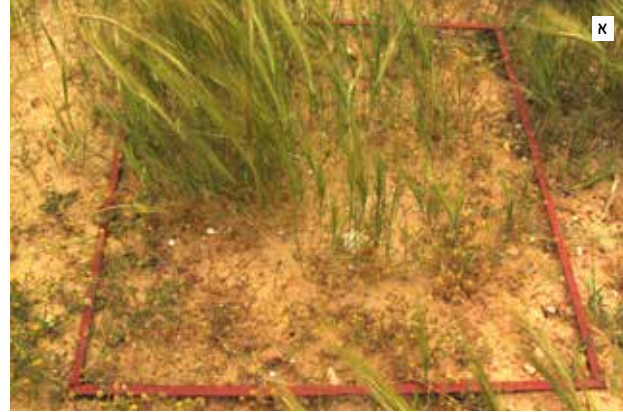
(א) נוכחות קבוצות הייחוס קנים ובני שיח מכלל כתמי הנוף בשני שטחי המחקר באביב 2009; (ב) גודלי הכתמים השונים וקני הנמלים בשטח הרעייה המתונה באביב 2008 ו־2009; (ג) גודל כתמי השיח וקני הנמלים בשטח רעיית יתר באביב 2008 ו־2009. מספר כתמי הנוף המכילים את קבוצת הייחוס עשבוניים רב־שנתיים היה זניח באזור החשוף לרעיית יתר, ולכן הוא הושמט; (ד) אחוז הקנים ובני השיח בכתמי הנוף המורכבים בשטח הרעייה המתונה באביב 2009; (ה) הקשר בין גודל הקן וחופת המתנן השעיר בשטח הרעייה המתונה באביב 2009; (ו) הקשר בין גודל הקן ומספר השיחים בגבולותיו בשטח הרעייה המתונה באביב 2009.





**איור 2.** דוגמאות ליחידות הנוף המיקרו־גאוגרפיות שהוגדרו במחקר

א. קן נמלים בשטח הרעייה המתונה; ב. קן נמלים בשטח תחת רעיית יתר; ג. כתם נוף עם קבוצת הייחוס של בני השיח; ד. התווך שבין הכתמים. רוחב צלע ריבוע הברזל 0.5 מ'.



**איור 3.** ביומסה ממוצעת של הצמחים העונתיים ביחידות הנוף

המיקרו־גאוגרפיות השונות בשטח הרעייה המתונה באביב 2010 (חמש חזרות לכל טיפול)

הקווים מעל לעמודות ומתחתיהן מציינות שגיאת תקן.

מובהקות סטטיסטית ( $\alpha=0.05$ ).

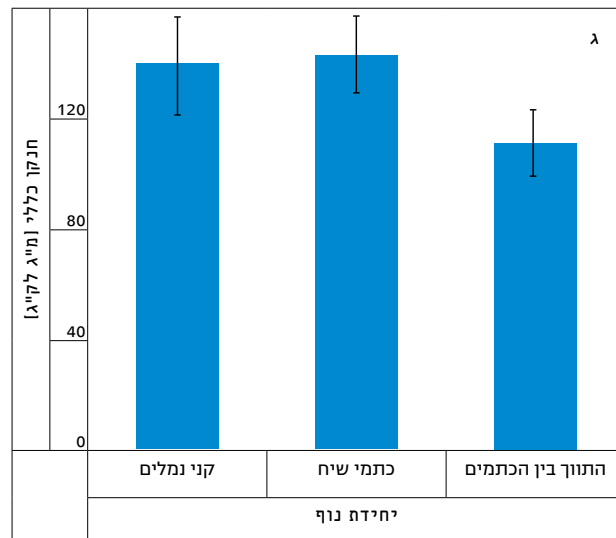
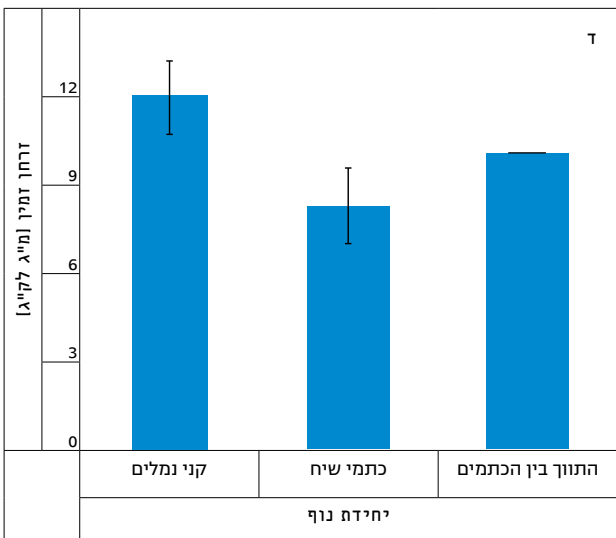
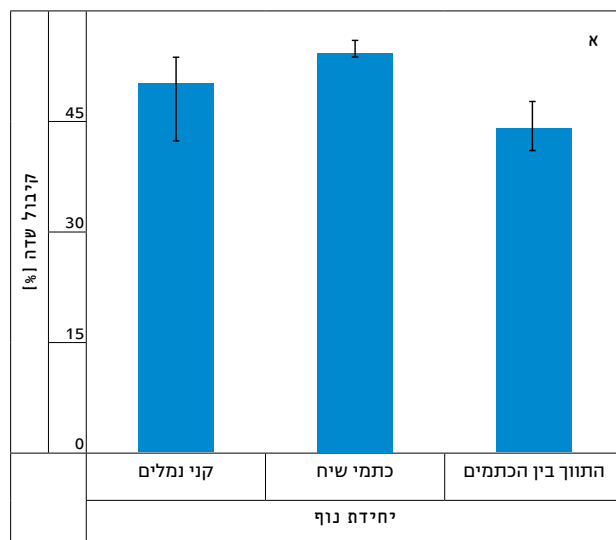
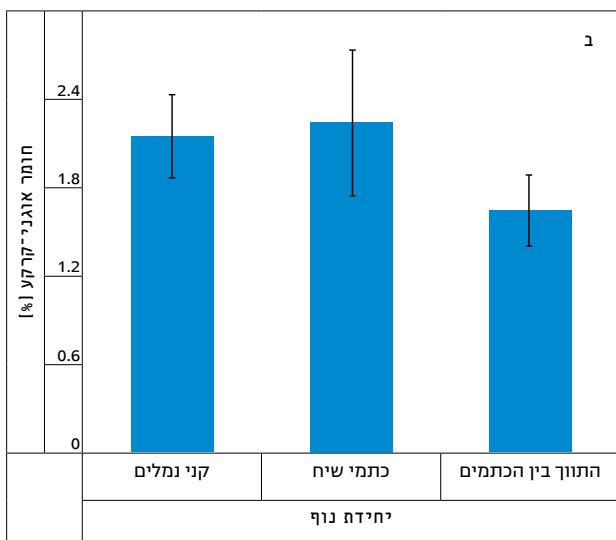
נמדד בכתמי נוף שקבוצת הייחוס בהם יחידאיות.



אורגני לדונם (בתווך נמצאו 4.53 ק"ג) [2]. התוצאות המוצגות ממחקר זה התקבלו הן בקני נמלים פעילים הן בקנים נטושים. תופעה זו מקבילה לתוצאות מחקר שנערך על השפעתם של כתמי שיח מתיים [20], ויכולה לרמוז על השפעתם של קני נמלת הקציר על הסביבה, אף בטווח הארוך. עם זאת, יש לציין כי מבחני חומרי ההזנה נערכו על קרקע שנאספה באביב. אין ודאות שהתוצאות שהתקבלו מייצגות את הקורה בעונות אחרות, עקב הדינמיות השונה של קני הנמלים וכתמי השיח [46].

המחקר לגבי תפוסת כתמי הנוף השונים המשמשים מבלעים, נמצא שקני הנמלים הוסיפו כ־55 ק"ג לדונם ביומסה עונתית בהשוואה לביומסה שהייתה מצופה אילו השטח היה מכיל רק תווך (בהתאם לחישוב, היה מצופה שיכיל רק 80 ק"ג לדונם), ולכתמי בני השיח (שתרמו 23 ק"ג לדונם נוסף על הערך המחושב מהתווך בלבד). כמו כן, שטחי הקנים הוסיפו כ־840 גרם חנקן לדונם לערך המצופה אילו השטח היה מכיל תווך בלבד (בתווך שבין הכתמים נמצאו 31.1 גרם) ותוספת של 187.2 גרם פחמן

איור 4. תכונות הקרקע בתמי־היחידות המיקרו־גאוגרפיות השונות בשטח הרעייה המתונה באביב 2009 (א) קיבול השדה; (ב) חומר אורגני; (ג) חנקן כללי; (ד) זרחן (P-PO<sub>3</sub>) זמין. נמדד בכתמי נוף שקבוצות הייחוס בהם יחידאיות.



patrolling<sup>[15]</sup>, אך לא תואר בין שטחים בעלי ממשק ניהול שונה). תצפיות אלה בוואדי עתיר מחזקות את הממצאים שהתקבלו בשטח המחקר העיקרי בחוות יתיר, לגבי הדינמיקה של הנמלים בשטח שבראשיתו היה מופר (כתוצאה מרעיית יתר) ומצוי בתהליך שימור.

ניתן לסכם את השפעתן של הנמלים על המערכת האקולוגית באזורי מדבר באמצעות הסכמה באיור 6

**מסקנות**

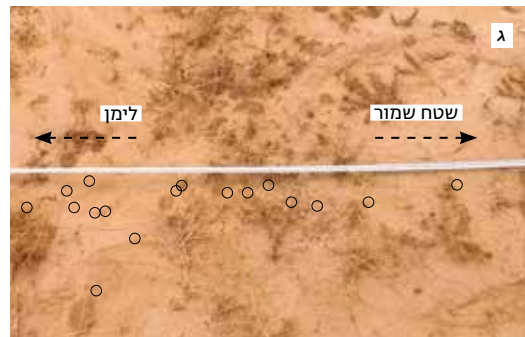
מחקר זה התמקד בהשפעת נמלת הקציר החופית ונמלת הקציר השחורה על מאפייניהם המיקרו־טופוגרפיים של שטחי מדבר, תוך שילוב ניתוחים סטטיסטיים מרחביים ייחודיים. יכולת ההנדוס הרבה של נמלת הקציר מתבטאת בהגדלת השטח היחסי שמתפקד כמשמר מים, בהעלאת פוריות הקרקע ויצרנותה, וכפועל יוצא מכך - בזירוז השתקמות השטח. עם זאת, תחום המחקר ראשוני, ודרוש מחקר רב נוסף.

דרך השפעה נוספת על פוריות הסביבה, המיוחסת לשפכי הקרקע מהקן ולטחיפתם הגבוהה<sup>[12]</sup>, נצפתה לאחר הגשמים המרוכזים בינואר 2013 (בין ה' 8 ל' 10 בינואר ירדו 65 מ"מ גשם, לפי נתונים של בעל החווה), והתבטאה בשפכי אדמה משטחי הקנים לתווך שבין הכתמים שבמורדותיהם. בבדיקה שבוצעה בנקודה שלא עובדה בוואדי עתיר ביולי 2014, נמצא שבשפכי הקרקע המתקבלים מפעילות הנמלים מצוי חומר אורגני בריכוז 14.4% בהשוואה ל-2.2% בלבד בסביבה הסמוכה הרחוקה משטחי הקנים (איור 5ד). תוצאות אלה מרחיבות את הידע מהספרות על תרומת הנמלים לפוריות הסביבה<sup>[43]</sup>.

התוצאות שתוארו עד כאן מדגימות את הדינמיקה של קני הנמלים לאחר כ-20 שנות שימור הקרקע מרעיית יתר. תצפיות משלימות המייצגות את הקורה לשטח מופר בתהליכי שימור, מודגמות באיור 5 באיור מתואר נתיב חורי כניסות נמלים מהשטח הלא מעובד לתוך הלימן שעבר עיבוד קרקע נרחב, שבתוכו התבסס קן נמלים צעיר (יש לציין שמעבר נמלים זה מוגדר כ-

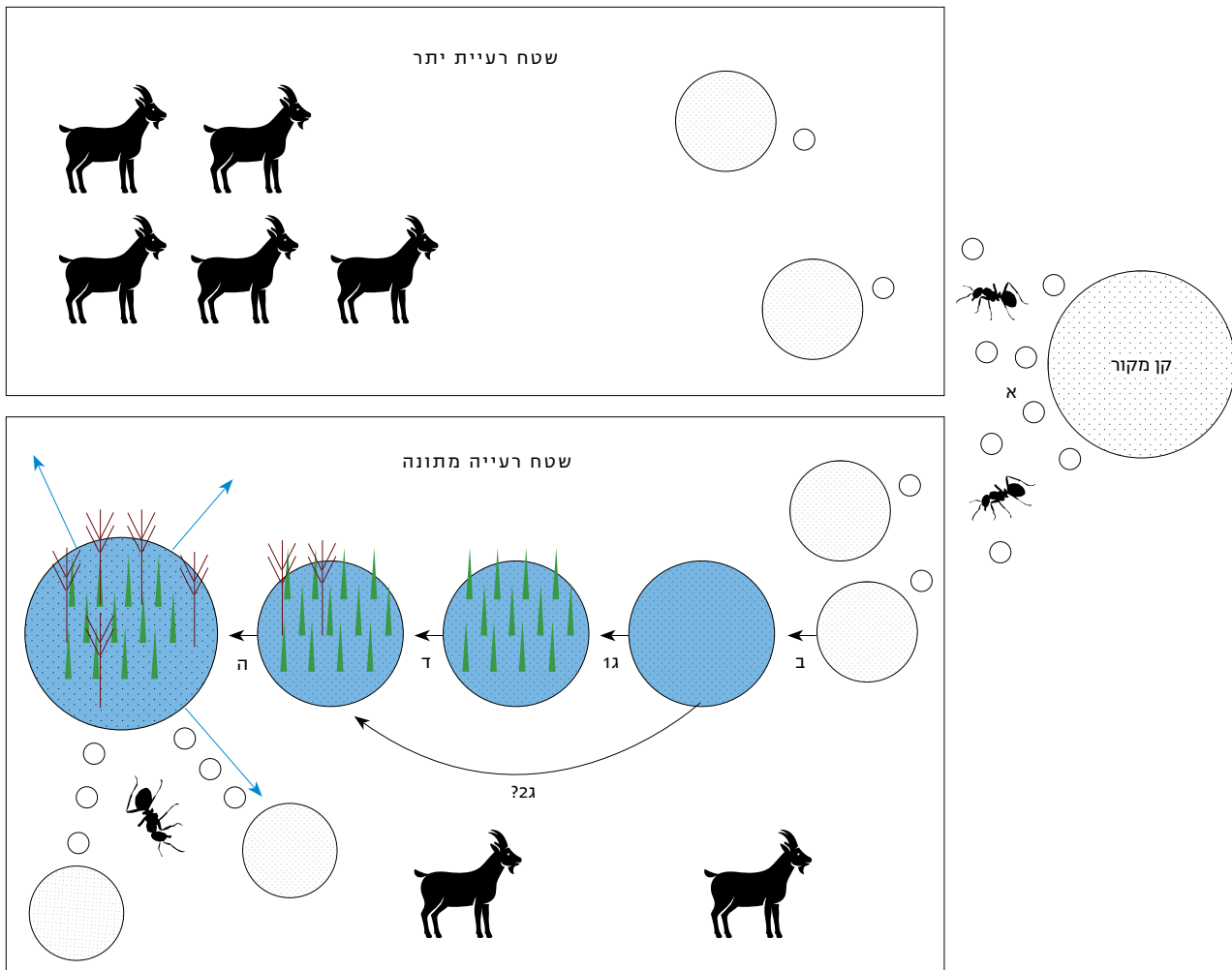
איור 5. השפעתן המרחבית של נמלי הקציר על שטח בתהליך שימור (לאחר שנה), תצפיות משלימות בוואדי עתיר, 2014

א. מבט כללי: מעבר פרטים מהמין נמלת הקציר החולית משטח לא מופר לשטח שעבר עיבוד קרקע נרחב (לימן); ב. צילום תקריב: הקן צעיר בלימן; ג. צילום תקריב: נתיב חורי כניסות נמלים מהשטח השמור ללימן, אורך 3.5 מ' ; ד. שפכי קרקע מקן נמלים המצוי בשטח שמור (חווה ביזנטית).



**איור 6. יחסי קנים-צמחים עונתיים-בני שיח באזורי מדבר**

שלב א: נמלים מקו המקור מתיישבות בשטחים השונים בקנים צעירים (ראו **איורים N5-ג**, Gordon <sup>[15]</sup> ו-Schultheiss ואחרים <sup>[133]</sup>).  
 שלב ב: בעוד שהקנים הצעירים בשטחים החשופים לרעיית יתר כמעט ואינם מתפתחים (ראו **איור ג1**), בשטחי הרעייה המתונה יוצרת פעילות הנמלים כתמים עשירים במשאבים ותאחיזת מים גבוהה (ראו **איורים T-N4** ו-Beattie and Culver <sup>[3]</sup>).  
 שלב ג: חומרי ההזנה ותאחיזת המים הגבוהים בשטחי הקנים מעודדים את הייצור הראשוני של הביומסה של הצמחים העונתיים (שלב ביניים המשקם את המערכת עד להתנחלות שיחים) (ראו **איור 2 ואיור 3**).  
 שלב ג2: Morton ו-Davidson טוענים שחומרי ההזנה המצויים בקני הנמלים מעודדים ישירות את ההתבססות והגדילה של מספר מיני שיטים באוסטרליה, אף ללא קשר לייצור ביומסה של עשבוניים <sup>[9]</sup>. טענה זאת, אם תוכח מדעית על מיני בני-שיח ועצים אחרים, יכולה להאיר פן ייחודי ומרתק לגבי השפעת הנמלים על הטביבה.  
 שלב ד: שלב התנחלות השיחים.  
 שלב ה: כתוצאה מהתנחלות השיחים והרחבת חופתם פעילות הנמלים בקן ובכתם הנוף מתרחבת (ראו **איור 1ב ואיור 1ה**), עולה פוריות כתם הנוף (ראו **איור 1ד**), מתרבים השיחים (ראו **איור 1ו**), נשלחות נמלים לבניית קנים חדשים (ראו **איור 1א** ו-Mailleux ואחרים <sup>[25]</sup>) ומתקיימת השפעה על הטביבה בהסתמך על התאוריה מבלע-מקור <sup>[24]</sup> ובאמצעות שפכי הקרקע (ראו **איור 1ד**).



ant nests on plant assemblage composition in a tropical rainforest of Costa Rica. *Ecoscience* 12(4): 554-560.

[14] Goldets C and Boeken B. 2004. Moderate sheep grazing in semiarid shrubland alters small-scale soil surface structure and patch properties. *Catena* 65: 285-291.

[15] Gordon DM. 1987. Group-level dynamics in harvester ants: Young colonies and the role of patrolling. *Animal Behaviour* 35(3): 833-843.

[16] Greenwood KL and McKenzie BM. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41(8): 1231-1250.

[17] Hamada H, Mohammed B, Massiot G, et al. 2004. Alkylated isocoumarins from *Pituranthos scoparius*. *Natural Product Research* 18(5): 409-413.

[18] Holzapfel C and Mahall BE. 1999. Bidirectional facilitation and interference between shrubs and annuals in the Mojave Desert. *Ecology* 80(5): 1747-1761.

[19] Jones CG, Lawton JH, and Shachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.

[20] Jouquet P, Mathieu J, Choosaï C, and Barot S. 2007. Soil engineers as ecosystem heterogeneity drivers. In: Munoz SI (Ed). *Ecology Research Progress*. New York: Nova science publishers.

[21] Lacey JR, Marlow CB, and Lane JR. 1989. Influence of spotted knapweed (*Centaurea maculosa*) on surface runoff and sediment yield. *Weed Technology* 3(4): 627-631.

[22] Le'onard J and Rajot JL. 2001. Influence of termites on runoff and infiltration: Quantification and analysis. *Geoderma* 104: 17-40.

[23] Lin Y, Han G, Zhao M, and Chang SX. 2010. Spatial vegetation patterns as early signs of desertification: A case study of a desert steppe in Inner Mongolia, China. *Landscape Ecology* 25(10): 1519-1527.

[24] Ludwig JA and Tongway DJ. 1995. Spatial organisation of landscapes and its function in semi-arid woodlands. *Australian Landscape Ecology* 10(1): 51-63.

[25] Maillieux AC, Deneubourg JL, and Detrain C. 2003. How does colony growth influence communication in ants? *Insectes Sociaux* 50(1): 24-31.

[26] Mor-Mussery A, Leu S, and Budovsky A. 2013. Application of new analytical method for analyzing the areal effects of various biological groups in arid shrublands. *Arid Land Research and Management* 28(2): 232-241.

[27] Mor-Mussery A and Leu S. 2012. Project Wadi Attir, 2012 Soil enhancement program, research report 2011/2012.

[28] Olsvig-Whittaker L, Frankenberg E, Perevolotsky A, and Ungar ED. 2006. Grazing, overgrazing and conservation: Changing concepts and practices in the Negev rangelands. *Sécheresse* 17(1): 195-199.

**תודות**

לד"ר ארמין איונסקו מאוניברסיטת תל-אביב על הגדרת מיני הנמלים. לד"ר ברט בוקן מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב על הגדרת מיני הצמחים. למשפחות אורן וארן, בעלי חוות יתיר, על העזרה בביצוע המחקר. לעמותת "ואדי עתיר" על ביצוע המחקר בשטחם. המאמר מוקדש לחדווה ויצחק גמינדר בתודה על כל התמיכה והעידוד במשך השנים.

**מקורות**

[1] סולר ש, רון מ, פרלמן י ורמון א. 2006. חבל יתיר - סקר, ניתוח והערכה של משאבי טבע, נוף ומורשת האדם. מכון דש"א. [www.deshe.org.il/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/SekerYatir.pdf](http://www.deshe.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/SekerYatir.pdf)

[2] Aronson J, Floret C, Floc'h E, et al. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the south. *Restoration Ecology* 1(1): 8-17.

[3] Beattie AJ and Culver DC. 1983. The nest chemistry of two seed-dispersing ant species. *Oecologia* 56(1): 99-103.

[4] Belsy J. 1992. Effects of grazing, competition, disturbance and fire on species composition and diversity in grassland communities. *Journal of Vegetation Science* 3(2): 187-200.

[5] Bernhard-Reversat F. 1982. Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 38: 321-332.

[6] Byers JE, Cuddington K, Jones CG, et al. 2006. Using ecosystem engineers to restore ecological systems. *Trends in Ecology and Evolution* 21(9): 493-500.

[7] Cammeraat LH, Willott SJ, Compton SG, and Incoll LD. 2002. The effects of ants' nests on the physical, chemical and hydrological properties of a rangeland soil in semi-arid Spain. *Geoderma* 105(1-2): 1-20.

[8] de Bruyn LA. 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture Ecosystem and Environment* 74(1-3): 425-441.

[9] Davidson DW and Morton SR. 1984. Dispersal adaptations of some Acacia species in the Australian arid zone. *Ecology* 65(4): 1038-1051.

[10] Dosta' l P, Br'eznova M, Kozlickova V, et al. 2005. Ant-induced soil modification and its effect on plant below-ground biomass. *Pedobryologia* 49: 125-137.

[11] Eswaran H, Van Den Berg E, and Reich P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil science society of America journal* 57(1): 192-194.

[12] Farji-Brener AG and Ghermandi L. 2004. Seedling recruitment in a semi-arid Patagonian steppe: Facilitative effects of refuse dumps of leaf-cutting ants. *Journal of Vegetation Science* 15(6): 823-830.

[13] Farji-Brener AG. 2005. The effect of abandoned leaf-cutting



ants in Israel (Hymenoptera: Formicidae). *Israel Journal of Entomology* **39**: 33-57.

[43] Wagner D and Jones JB. 2006. The impact of harvester ants on decomposition, N mineralization, litter quality, and the availability of N to plants in the Mojave Desert. *Soil Biology and Biochemistry* **39**(8): 2593-2601.

[44] Ward D, Ngairorue BT, Apollus A, and Tjiveze H. 2000. Perceptions and realities of land degradation in arid Otjimbingwe, Namibia. *Journal of Arid Environments* **45**(4): 337-356.

[45] Wilby A and Shachak M. 2004. Shrubs, granivores and annual plant community stability in an arid ecosystem. *Oikos* **106**(2): 209-216.

[46] Zaady E. 2005. Seasonal change and Nitrogen cycling in a patchy Negev desert: A review. *Arid Land Research and Management* **19**: 111-124.

[47] Zaady E, Yonatan R, Shachak M, and Perevolotsky A. 2001. The effects of grazing on abiotic and biotic parameters in a semiarid ecosystem: A case study from the Northern Negev Desert, Israel. *Arid Land Research and Management* **15**(3): 245-261.



חוות יתיר - המחקר בוצע בתחומי החווה, בשטח שמתקיימת בו רעייה מתונה, ושבעברו היה חשוף לרעיית יתר | צילום: עמיר מור־מוסרי

[29] Pablo CA and Martin A. 2006. Effects of grazing on patch structure in a semi-arid two-phase vegetation mosaic. *Journal of Vegetation Science* **16**(1): 57-66.

[30] Rico-Gray V and Oliveira PS. 2007. The ecology and evolution of ant-plant interactions. USA: University of Chicago press.

[31] Sarah P. 2002. Spatial patterns of soil moisture as affected by shrubs, in different climatic conditions. *Environmental Monitoring and Assessment* **73**: 237-241.

[32] Sava R. 1994. Guide to sampling, air, water, soil and vegetation for chemical analysis. Environmental Protection Agency, Department of pesticide regulation, Environmental Monitoring and pest management branch. California.

[33] Schultheiss P, Schwarz S, and Wystrach A. 2010. Nest relocation and colony founding in the Australian desert ant, *Melophorus bagoti* type Lubbock (Hymenoptera: Formicidae). *Psyche: A Journal of Entomology* 2010.

[34] Shachak M and Jones CG. 1995. Ecological flow chains and ecological systems: Concepts for linking species and ecosystem perspectives. In: Jones CG (Ed). *Linking Species & Ecosystems*. USA: Springer press.

[35] Schiller G and Karschon R. 1974. Microclimate and recreational value of tree plantings in deserts. *Landscape Planning* **1**: 329-337.

[36] Sidahmed AE. 1996. The rangelands of the arid/semi-arid areas: Challenges and hopes for the 2001 Symposium D: Range Management. The International Conference on Desert Development in the Arab Gulf Countries. KISR, Kuwait 23-26 March 1996. [www2.hu-berlin.de/agrar/ntoe/lehre/lives/pdf/lit-06-rangelands.pdf](http://www2.hu-berlin.de/agrar/ntoe/lehre/lives/pdf/lit-06-rangelands.pdf).

[37] Stavi I, Ungar U, Lavee H, and Sarah P. 2009. Livestock modify ground surface microtopography and penetration resistance in a semi-arid shrubland. *Arid Land Research and Management* **23**: 237-247.

[38] Steinberger Y, Leschnert H, and Shmida A. 1992. Activity pattern of harvester ants (*Messor* spp.) in the Negev desert ecosystem. *Journal of Arid Environment* **23**: 169-176.

[39] Swanson J. 2008. Local grazing schemes: Working towards sustainable grazing systems - from pastoralism to wildlands. A best practice guide. 2nd ed. The Grazing Animals Project. [www.grazinganimalsproject.org.uk/setting\\_up\\_grazing\\_scheme.html?publication=1;90](http://www.grazinganimalsproject.org.uk/setting_up_grazing_scheme.html?publication=1;90).

[40] Tschinkel WR. 2004. The nest architecture of the Florida harvester ant, *Pogonomyrmex badius*. *Journal of Insect Science* **4**: 21.

[41] USDA. 1999. Soil taxonomy - A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys ,2nd ed. United State department of agriculture Natural Resources Conservation Service. [ftp://fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil\\_Taxonomy/tax.pdf](ftp://fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/tax.pdf)

[42] Vonshak M and Lonescu-Hirsch A. 2009. A checklist of the

