

שינויים בתכונות הקרקע הנובעים מכיסוי הצומח בשטחים הפתוחים ברמת הנגב

אלי צעדי, המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי, מרכז המחקר גילת, משרד החקלאות, גילת
zaady@volcani.agri.gov.il

תקציר

עבודה זו מחזקת את מודל יחסי מקור-מבלע בין קרומי קרקע ושיחים ומראה שההתייחסות לאזורים צחיחים כמערכת אקולוגית דורכתמית מאפשרת להבין טוב יותר את הייצור והמגוון הביולוגי של אזורים אלה.

מילות מפתח (נוספות על מילות הכותרת): כתמיות, מודל מקור-מבלע, משאבים, קרומי קרקע ביולוגיים, שיחים.

מבוא

באזורים סמיארידיים וארידיים ברחבי העולם, הגורם האקלימי מהווה גורם מגביל לפעילות הביולוגית. הקשר שבין המים כמשאב מגביל עיקרי לאורגניזמים כצמחים משפיע על צורת הנוף המתקבלת, מאחר שהוא אינו מאפשר התפתחות של צמחייה גבוהה וצפופה המאפיינת אזורים מרובי גשמים (Evenari, 1985). צורת הנוף בנגב הצפוני וברמת הנגב מאופיינת בשני כתמים עיקריים: שיחים וקרומים. השיחים מפוזרים בתוך שטח פתוח המכוסה בקרומי קרקע ביולוגיים (Boeken & Shachak, 1994; Zaady et al., 2001). לאחר הגשם, פני הקרקע שבין השיחים נצבעים בירוק ומורים על הימצאות אורגניזמים פוטוסינתטיים זעירים הקרויים מיקרופיטים. משאב המים מהווה גורם עיקרי המשפיע על הרכב ועושר המינים של החברה המיקרופיטית. עם העלייה בכמות הגשם מ-50 ועד 350 מ"מ, חברת המיקרופיטים משתנה מחברת ציאנובקטריות (כחוליות) לחברה מורכבת של אצות קרקע, טחבים וחזזיות (West, 1990; Belnap & Lange, 2002; Zaady et al., 1997).

שיעור הכיסוי של כתמי קרומי קרקע לעומת כתמי השיחים משתנה בהתאם לכמות הגשמים הממוצעת היורדת במקום. לדוגמה, באזור שדה בוקר, שבו יורדים כ-90 מ"מ גשם, שיעור הכיסוי השיחי של פני השטח מגיע לפחות מ-20 אחוזים לעומת כ-50 אחוזים באזור להבים, שבו יורדים כ-285 מ"מ גשם. גם עובי קרום הקרקע הביולוגי המכיל את החברה המיקרופיטית משתנה בהתאם לכמות הגשמים והוא יכול לנוע מ-1 ועד 2 מ"מ (באזורים שיוורדים בהם פחות מ-100 מ"מ גשם) ועד ל-15 מ"מ (באזורים שיוורדים בהם כ-300 מ"מ גשם) (Zaady et al., 1996, 1997).

הקשר שבין המים כמשאב מגביל עיקרי של אורגניזמים כצמחים משפיע על צורת הנוף המתקבלת באזורים צחיחים כמו הנגב. צורת הנוף בנגב הצפוני וברמת הנגב, בשטחים הפתוחים, מאופיינת בשני כתמים עיקריים: שיחים המפוזרים בתוך שטח פתוח וקרומי קרקע ביולוגיים המכסים את השטח שביניהם. נמצא, כי קרום זה מווסת את זרימת המים בקרקעות הלס במדבר על ידי ויסות החדירות וההתאדות. המודל מקור-מבלע הוצע לתיאור תפקודי מערכת אקולוגית יובשנית המכילה שני כתמים – שיחים וקרומים. במודל זה, הקרומים מאבדים לסביבתם מים, קרקע ונוטריינטים, המהווים את המקור למשאבי השיח שהוא המבלע. המידע שהצטבר עד כה, בצפון הנגב ובעולם, העלה את הצורך לבדוק בדיקה מעמיקה יותר את ההיבטים של מודל המקור-מבלע לגבי תכונות הקרקע בין שני הכתמים. כדי לבחון זאת, נבדקו מספר תכונות של הקרקע (פיסיקליות וביולוגיות) באזור השיחים והקרומים. לצורך הניסוי נבחרו שמונה שיחים נפוצים באזור רמת הנגב והשטח הפתוח הסמוך אליהם, המכוסה בקרומי קרקע ביולוגיים. המחקר נערך בשדה צין, שליד שדה בוקר, ובשיפולים המזרחיים של רכס חלוקים הסמוך. ארבע דוגמאות של קרקע (עד עומק של 10 ס"מ) נאספו מתחת לכל שיח וארבע דוגמאות מחוץ לשיח בשטח המכוסה בקרומים (1 מטר מהשיח). בניסוי נבדקו שבעה משתנים שונים: (1) הלחץ הדרוש לשבירת פני הקרקע; (2) pH; (3) מוליכות חשמלית (מליחות); (4) אחוז הרוויה; (5) קיבול שדה; (6) נשימת הקרקע; (7) כמות הפחמן האורגני. מכלל המשתנים שנבדקו, לגבי כלל הצמחים, חמישה גורמים הראו הבדלים מובהקים בין הקרקע מתחת לשיחים ומחוצה להם, אשר יכולים לאמת את המודל מקור-מבלע: הלחץ הדרוש לשבירת פני הקרקע, המליחות, נקודת הרוויה, נשימת הקרקע והפחמן האורגני. למי הגשמים היוורדים באותו אזור והמצטברים מתחת לשיח השפעות חיוביות על גידול השיח ועל גידול צמחים עשבוניים מתחתיו. כל התוצאות שנמצאו במחקר זה הן תוצאה של התפלגות המשאבים.

מפרסומי מינהל המחקר החקלאי מס' 105/2007

ייצור הביומסה ועושר המינים בצפון הנגב תלוי בכושר הייצור היחסי של כל אחד מהכתמים. כתמי צמחים עילאיים, הכוללים שיחים ועשבונים, הם בעלי כושר גבוה יחסית לייצור ביומסה, ואילו כתמי קרומי הקרקע הביולוגיים (מיקרופיטים), הכוללים את מרכיבי חברת קרומי הקרקע, כושרם לייצור ביומסה נמוך. בצפון הנגב מגיע ייצור הביומסה של צמחים חד-שנתיים בכתמי השיחים לכדי 170 גרם למ"ר, וייצור הביומסה של חברת המיקרופיטים הוא כ-10 גרם למ"ר (Boeken & Shachak, 1994). השיחים באזורים אלה מהווים איים של פוריות, המשמשים אזור פעילות וחיות לאורגניזמים רבים, לצמחים חד-שנתיים, לחסרי חוליות ולבעלי חוליות (Noy-Meir, 1985; Garner & Steinberger, 1989; West, 1989; Allen, 1991; Boeken & Shachak, 1994), שמיעוטם נראה באזור הפתוח שבין השיחים.

המידע שהצטבר עד כה בצפון הנגב ובעולם העלה את הצורך לבדוק בדיקה מעמיקה יותר את ההיבטים של מודל המקור-מבלע לגבי תכונות הקרקע בין שני הכתמים. כדי לבחון זאת, נבדקו מספר תכונות של הקרקע (פיסיקליות וביולוגיות) באזור השיחים והקרומים. לצורך הניסוי נבחרו שמונה שיחים נפוצים באזור רמת הנגב והשטח הפתוח הסמוך, המכוסה בקרומי קרקע ביולוגיים.

שיטות וחומרים

שטחי המחקר

המחקר נערך בשדה צין, שליד קיבוץ שדה בוקר, ובשיפולים המזרחיים של רכס חלוקים הסמוך (34°46'E, 30°52'N), שהם המשכו של שדה צין. כמות הגשמים הממוצעת באזור היא כ-90 מ"מ (בחמש השנים האחרונות כ-64 מ"מ בממוצע). הטמפרטורה הממוצעת משתנה 9 מ"צ בינואר ל-25 מ"צ באוגוסט (Evenari, 1985). בעוד שבשדה צין פני הקרקע שטוחים ועם שיפועים מתונים, ברכס חלוקים המדרונות מגיעים לגובה של 30 מטר מעל לסביבה, באורך של 55-76 מטר ובשיפועים של 12 עד 29 מעלות. המסלע הוא גיר קשה המכסה את רוב השטח. בשדה צין הקרקע היא קרקע לס עמוקה, בעוד שברכס חלוקים קרקע הלס מתרכזת בעיקר בערוצים (ליתוסול חום); בשלוחות ובמדרונות, הקרקע מצויה בכיסים שבין האבנים והמסלע (סירוזומים לסיים) (Dan et al., 1977; Yair & Shachak, 1987).

שמונה שיחים, הנפוצים בשטחי המחקר, נבחרו לצורך הניסוי (Feinbrun-Dothan & Danin, 1991):

◆ זוגן השיח (*Zygophyllum dumosum* (ZYGOPHYLLACEAE) ;Boiss.

◆ חמד המדבר (בעבר חמדת המדבר) (CHENOPODIACEAE) ;*Hammada scoparia* (Pomel) Iljin

הקרום נוצר כתוצאה מיחסי גומלין שבין המיקרופיטים לבין גרגרי הקרקע. תוצרים מטבוליים המופרשים על ידי כחוליות ואצות קרקע ירוקיות מדביקים את גרגרי הקרקע ויוצרים שכבה קשה, המעלה את יכולת האחיזה של המים בקרקע על ידי האטת מהירות ההתאדות והייבוש (Campbell et al., 1989). בחברת המיקרופיטים במדבריות, היצור הראשוני הנפוץ ביותר הוא אצה כחולית חוטית. האצה הכחולית החוטית מהסוג *Microcoleus* היא האחראית העיקרית ליצירת הקרום ברוב האזורים המדבריים בעולם (Belnap, 1993). אצה זו יוצרת סבך של חוטים ומפרישה רב-סוכרים המדביקים את גרגרי הקרקע זה לזה. כחוליות גורמות לליכוד חלקיקי הקרקע באמצעות המנגנונים הבאים: (1) ספיחה של חלקיקי הקרקע לדפנות הכחולית; (2) ספיחה של חלקיקי הקרקע לריר דביק (מוציג) המופרש לקרקע; (3) אחיזה מכנית של חלקיקי הקרקע על ידי הכחוליות החוטיות (צעדי, 1999 & Bar-Or & Danin, 1989; Shilo, 1988).

נמצא, כי הקרום המיקרופיטי מווסת את זרימת המים בקרקעות הלס במדבר על ידי ויסות החדירות וההתאדות (Zaady & Shachak, 1994). קרום מיקרופיטי מפותח הוא הידרופובי, בשל מעטה הרב-סוכרים המיוצר על ידי הכחוליות ואצות הקרקע. מעטה זה מדביק את חלקיקי הקרקע זה לזה, אוטם את פני השטח (West, 1990) וגורם לירידה בחדירות הקרקע למים ולעלייה בנגר (Zaady et al., 2001).

החוקרים Eldridge et al. (1999, 2000, 2002) ניסו לבדוק את השפעת כיסוי פני הקרקע על קצבי חידור המים שבין שני הכתמים המאפיינים את הנוף הטבעי. בניסוי שערך באזור שדה צין, שליד שדה בוקר, באזור דיונות ניצנה ובאזור פארק סירת שקד שליד אופקים, הם חשפו את פני הקרקע מתחת לשיחים ולקרום הביולוגי והראו כי קצבי החידור של המים בפני הקרקע היו גבוהים מתחת לשיחים לעומת אלה שעל קרומי הקרקע הביולוגיים. מתוצאות הניסויים האלה ודומים להם אפשר להסיק על יחסי הגומלין שבין שני סוגי הכתמים המרכיבים את הנוף הצחיח והצחיח למחצה.

החוקרים Shachak et al. (1998) ו-Cross & Schlesinger (1999) הציעו את המודל מקור-מבלע לתיאור תפקודי מערכת אקולוגית יובשנית המכילה שני כתמים. במודל זה הקרומים מאבדים מים, קרקע ונוטריינטים לסביבתם, ואלה מהווים את המקור למשאבי השיח שהוא המבלע (Zaady et al., 2004). מודל זה מסתמך על ההסבר, כי כתמי הקרומים תומכים בכתמי השיחים על ידי היותם מקור למשאבים של קרקע (ממקור אטמוספירי על ידי שקיעת אבק) (Shachak & Lovett, 1998), מים ומינרלים שמצטברים מתחת לשיחים (Yair & Shachak, 1987; Rostango, 1989; Stockton & Gillette, 1990; Abrahams et al., 1994; Eldridge & Greene, 1994; Eldridge et al., 2000; Zaady et al., 1996, 1998; Shachak et al., 1998).

בקרקה ומצביעה על פוריות הקרקע וחומרי המזון הזמינים לפירוק מיקרוביאלי. כמות ה- CO_2 נמדדה על ידי טיטור של NaOH, הקולט את ה- CO_2 הנפלט לכלי הניסוי בו הודגרה דיגמת הקרקע, על ידי HCl (Anderson & Domsch, 1978).

פחמן אורגני: כמות הפחמן האורגני מהווה מדד לפוריות הקרקע בהיותו פוטנציאל לנוטרייטים הדרושים לגידול של הצומח. דוגמאות של קרקע נשטפו על ידי 1% HCl ויובשו בתנור (105 מ"צ) למשך 24 שעות. הקרקע היבשה נשקלה והועברה לשריפה בכבשן (650 מ"צ) לשמונה שעות ולאחר מכן נשקלה שנית. ההפרש מציין את כמות הפחמן האורגני שבדיגימה (Ben-Dor & Banin, 1989).

ניתוח סטטיסטי

נערך ניתוח שונות חד-גורמי (One way ANOVA) ו-t-Test לגבי ההבדלים שבין תוצאות כל אחד מהמשתנים שנבדקו מתחת ומחוץ לשיחים, על גבי הקרומים הביולוגיים הסמוכים. כמו כן, נערכו מבחני קורלציה בין המשתנים השונים שנבדקו לבחינת מתאם אפשרי ביניהם (Sokal & Rohlf, 1995).

תוצאות

חוזק (דחיסות) פני הקרקע: מדד זה הצביע על הבדל מובהק שבין השיחים לקרומים הביולוגיים. נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים ונדרש לחץ גבוה יותר כדי לשבור את פני הקרקע מחוץ לשיחים (קרום קרקע ביולוגי) לעומת הלחץ הנדרש מתחת לפני השיחים (טבלה 1).

מוליכות חשמלית (EC) ו-pH: בשבעה מן השיחים שנבדקו נמצאה כמות מלח גבוהה יותר מתחת לשיחים מאשר בקרום הביולוגי הסמוך. רק במקרה של מתנן שעיר נמצאו רמות גבוהות של מליחות בקרומים לעומת מתחת לשיחים. ב-pH לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין השיחים לקרומים. כאשר נבדקו כלל השיחים לעומת הקרומים לא נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים בערכי ה-pH ביניהם. לעומת זאת, כאשר כלל השיחים נבדקו לעומת הקרומים לגבי המליחות בקרקע, ההבדלים נמצאו מובהקים (טבלה 1).

נקודת רוויה וקיבול שדה: רק במקרה של זוגן השיח נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים בין הקרקע מתחת לשיח לעומת הקרומים הסמוכים. כאשר הושוו כלל השיחים לקרומים לא נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים בערכי קיבול השדה ביניהם. כן נמצאו הבדלים מובהקים כאשר כלל השיחים נבדקו לעומת הקרומים לגבי נקודת הרוויה של המים בקרקע (טבלה 1).

- ◆ מלוח מלבין (*Atriplex leuocladata* (CHENOPODIACEAE) Boiss.;
- ◆ מתנן שעיר (*Thymelea hirsuta* (L.) (THYMELAEACEAE) Endl.;
- ◆ לענת המדבר (*Artemisia sieberi* Besser (COMPOSITAE) ;
- ◆ רותם המדבר (*Retema raetam* (PAPILIONACEAE) (Forssk.) Webb;
- ◆ יפרוק המדבר (*Anabasis articulata* (CHENOPODIACEAE) (Forssk.) Moq.;
- ◆ אשליל שעיר (*Reaumuria hirtella* (TAMARICACEAE) J. et Sp.

שלושה שיחים מכל אחד משמונת המינים סומנו בשטחי המחקר. ארבע דוגמאות של קרקע (עד עומק של 10 ס"מ) נאספו מתחת לכל שיח וארבע דוגמאות מחוץ לשיח בשטח המכוסה בקרומים (1 מטר מהשיח). בניסוי נבדקו שבעה משתנים שונים: (1) הלחץ הדרוש לשבירת פני הקרקע; (2) pH; (3) מוליכות חשמלית (מליחות); (4) אחוז רוויה; (5) קיבול שדה; (6) נשימת הקרקע; (7) כמות הפחמן האורגני. לפני ניסויי המעבדה, הקרקע עברה סינון בנפה של 2 מ"מ להרחקת חלקי צמחים ואבנים.

חוזק (דחיסות) פני הקרקע: הלחץ הדרוש לשבירת פני הקרקע נמדד על ידי 30 מדידות מתחת לשיחים ו-30 על גבי קרום הקרקע הביולוגי על ידי פנטרומטר (Forestry Supplies, USA) ומבוטא כ"ג לסמ"ר.

מוליכות חשמלית (EC) ו-pH: המוליכות החשמלית מהווה אינדיקציה למליחות הקרקע. בקרקעות הנגב היא בדרך כלל גבוהה בשל קצב ההתאדות הגבוה ומהווה אחד הגורמים המגבילים גידול של צמחים (Evenari et al., 1982). 30 גרם של קרקע עורבבו עם מים מזוקקים פעמיים (1:1). הדוגמאות הוכנסו למטלטל ל-15 דקות ב-25 מ"צ ולאחר מכן עברו סינון (Whatman filter papers No.1) עד לקבלת תמיסת נוזל צלולה. המוליכות וה-pH נבדקו בתמיסה זו.

נקודת רוויה וקיבול שדה: נקודת הרוויה וקיבול השדה מספקים מדידה אמינה לגבי המבנה הפיסיקלי של הקרקע, מכיוון שגודל גרגרי הקרקע והנקבוביות משפיעים על תכולת המים. קיבול השדה בודק את כמות המים הנשארת בקרקע לאחר יציאת המים העודפים בגרוויטציה.

נשימת קרקע: משתנה הנמדד על פי כמות ה- CO_2 המיוצרת על ידי המיקרואורגניזמים בקרקע לאורך זמן קבוע. משתנה זה מהווה מדד יעיל, לא ישיר, להערכת פעילות המיקרואורגניזמים בקרקע. פעילות זו נמצאה כמדד טוב לביומסה המיקרוביאלי

במבחני הקורלציה נמצא, כמוכן, מתאם בין קיבול השדה לנקודת הרוויה ($r^2=0.99$). כמו כן, נמצאו ערכי קורלציה גבוהים כאשר נבדק הפחמן האורגני לעומת קיבול השדה ונקודת הרוויה ($r^2=0.65$ ו- $r^2=0.64$ בהתאמה).

דיון

במחקר זה נבדקו מספר משתנים בקרקע, כדי להסביר כיצד המשתנים שנבדקו יכולים לסייע בהבנת המודל של מקור-מבלע וכדי להבין את התפקוד של המערכת האקולוגית באזורים מעוטי גשמים. בתנאים טבעיים, באזורים צחיחים, קיימים יחסי מקור-מבלע בין השיחים הגדלים במפוזר בשטח לבין קרומי הקרקע הביולוגיים שמסביבם (Garner & Steinberger, 1989; West, 1989; Boeken & Shachak, 1994;

נשימת הקרקע: נשימת הקרקע נמצאה מובהקת סטטיסטית בין הקרקע מתחת לשיחי מתנן שעיר, לענת המדבר ואשליל שעיר לעומת הקרקע של הקרומים הביולוגיים הסמוכים. כאשר נבדקו כלל השיחים לעומת הקרומים נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים בערכי נשימת הקרקע ביניהם (טבלה 1).

פחמן אורגני: בשישה מן השיחים שנבדקו נמצאו ערכים גבוהים יותר של פחמן אורגני מתחת לשיחים לעומת הקרומים הסמוכים. באשליל שעיר נמצאו ערכים דומים. לעומת זאת, במקרה של מתנן שעיר נמצאו ערכי פחמן אורגני גבוהים יותר בקרומים הסמוכים מאשר בקרקע מתחת לשיח. כאשר נבדקו כלל השיחים יחדיו לעומת הקרומים נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים בערכי הפחמן האורגני בקרקע ביניהם (טבלה 1).

טבלה 1: השוואה בין המשתנים השונים שנבדקו מתחת (under) לשיחים ועל גבי הקרומים הביולוגיים הסמוכים (outside) (ממוצע \pm SE). (האותיות השונות מצביעות על הבדלים סטטיסטיים מובהקים, $p > 0.05$)

Table 1: Comparison between the studied parameters under and outside the selected shrubs (mean \pm SE). Different letters indicate significant statistical differences, $p < 0.05$

פחמן אורגני Organic carbon (%)	נשימת קרקע Respiration CO ₂ (mg/m ² /hr)	מוליכות חשמלית EC dS/m	דחיסות פני הקרקע Compaction kg/cm ²	pH	קיבול שדה (%) FC	נקודת רוויה (%) SP	מיקום Location	המשתנה שנבדק סוג השיח
a 5.88	a 9.07	a 2.68	b 1.35	b 7.38	a 48.78	a 48.78	Under	זוגן השיח
b 2.45	a 15.2	a 0.43	a 3.08	a 7.65	b 44.85	b 44.85	Outside	
a 3.65	a 12.85	a 5.25	b 0.96	a 7.40	a 45.75	a 45.75	Under	מלוח מלבין
a 2.90	a 15.45	a 2.93	a 1.71	a 7.50	a 43.58	a 43.58	Outside	
b 4.08	b 5.70	a 0.70	b 2.47	a 7.78	a 46.23	a 46.23	Under	מתנן שעיר
a 8.20	a 16.90	a 1.35	a 3.16	a 7.53	a 40.90	a 40.90	Outside	
a 3.50	a 14.9	a 0.83	b 1.16	b 7.50	a 41.08	a 41.08	Under	חמד המדבר
a 1.65	a 15.7	a 0.30	a 1.78	a 7.78	a 39.28	a 39.28	Outside	
a 5.87	a 14.57	a 0.87	b 1.81	a 7.17	a 29.07	a 31.53	Under	רותם המדבר
a 5.33	a 9.40	a 0.71	a 3.35	a 7.03	a 26.53	a 29.50	Outside	
b 4.00	a 15.13	a 0.87	b 1.25	a 7.02	a 28.60	a 32.07	Under	אשליל שעיר
a 5.53	b 4.77	b 0.34	a 3.97	a 6.97	a 18.47	a 20.87	Outside	
a 6.67	a 12.00	a 0.90	b 2.09	a 7.17	a 23.70	a 27.46	Under	לענת המדבר
a 8.90	b 5.03	b 0.45	a 3.59	a 7.33	a 20.97	a 23.40	Outside	
a 4.83	a 10.70	a 0.93	b 1.73	a 6.87	a 24.13	a 26.80	Under	יפרוק המדבר
a 6.33	a 6.37	a 0.54	a 3.33	a 7.00	a 17.27	a 19.90	Outside	

טבלה 2: תוצאות המבחן הסטטיסטי של כל משתני הקרקע שנבדקו, המשווים בין הקרקע מתחת לשיחים לקרומים הביולוגיים הסמוכים. הטבלה מראה על ערכי ה-P עם $p < 0.05$ במספרים מודגשים

Table 2: The results of t-tests done for all the soil parameters, comparing sub-canopy and crusted outside soils for each species separately and for the eight species grouped. Bold values signify $p < 0.05$

סוג השיח המשתנה שנבדק	זוג השיח	חמד המדבר	מלוח מלבין	מתנן שעיר	לענת המדבר	רותם המדבר	יפרוק המדבר	אשיל שעיר	כלל שמונת השיחים
דחיסות פני הקרקע	< 0.001	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
pH	0.016	0.003	0.261	0.104	0.654	0.725	0.391	0.587	0.498
EC	0.109	0.041	0.245	0.158	0.037	0.286	0.324	0.006	< 0.001
נקודת רוויה	0.021	0.163	0.061	0.058	0.107	0.929	0.179	0.263	0.048
קיבול שדה	0.019	0.123	0.131	0.060	0.147	0.989	0.183	0.279	0.059
נשימת קרקע	0.054	0.169	0.209	0.006	0.011	0.301	0.201	0.001	< 0.001
פחמן אורגני	0.018	0.273	0.255	0.070	0.003	0.070	0.035	0.974	0.012

נמצאו הבדלים מובהקים באף אחד מן המשתנים שנבדקו בין הקרקע הקרומית מחוץ לשיח לבין זו שנאספה מתחת לשיח, פרט לדחיסות פני הקרקע.

המחקר מזהה בבירור את הגורם המרכזי המאפשר את קיומם של יחסי מקור-מבלע שבעקבותיו נוצרות שתי סביבות שונות המאפיינות אזורים צחיחים. יחסים אלה משתנים ככל שכמות הגשם עולה. במקרים של מיעוט גשמים, יש צורך בשטח תורם גדול יותר שמפיק כמות נגר עילי גבוהה יותר שתגיע מהקרום אל השיח הסמוך, כדי לתמוך בגידולו. כאשר גדלה כמות הגשמים, גדל אחוז הכיסוי השיחי וקטן השטח התורם (שיעור הכיסוי בקרומי הקרקע) (צעדי, 1999). דחיסות פני הקרקע הגבוהה בקרומים והקטנה מתחת לשיחים משפיעה על חדירות מים לקרקע מחד, ועל יצירת נגר, מאידך. הקרום הדחוס מקטין את חדירות הקרקע למים ולכן מהווה מקור לנגר. הנגר הזורם נבלע מתחת לשיח, שלקרקע מתחתיו מקדם חידור גבוה (Zaady et al., 1996). יחסי מקור-מבלע למים יוצרים על פני מרחקים קצרים שני כתמים – האחד עשיר יחסית במים (מתחת לשיח) והשני דל במים (מתחת לקרומי הקרקע). מודלים מתמטיים חדשים, המתאייחים לשיחים וקרומים כ"מהנדסי סביבה" (Gilad et al., 2004), מצביעים על כך שהבדלים בחידור המים שיוצרים שני המהנדסים הללו, הם שאחראים להצטברות המים מתחת לשיח. למים המצטברים מתחת לשיח השפעות חיוביות על גידולו ועל גידול צמחים עשבוניים מתחתיו. כל המשתנים האחרים שנמדדו בעבודה זו הם תוצאה של התפלגות המים.

(Schlesinger et al., 1996; Shachak et al., 1998). מתחת לשיחים מתפתחת, בדרך כלל, תלולית קרקע תחוחה לעומת הקרום הקשיח שמסביב. תלוליות קרקע אלו מאפשרות את הגדלת כמות המים הנאצרת בקרקע בשל מידת הנקבוביות הגדולה בהן לעומת פני הקרקע הדחוסים של הקרומים שמסביב. נשר הצומח אף הוא מתרכז מתחת לשיחים, מה שמגדיל את כמות הפחמן האורגני ובהמשך את פעילות המיקרואורגניזמים המפרקים. השיחים משמשים גם כמחסה לזרעים של צמחים חד-שנתיים בפני טריפה ומקור לפיזור זרעים לסביבה (Boeken & Shachak, 1994). כמו כן, שבלולים וחפיפושיות מוצאים מזון ומחסה בפני טורפים על השיחים ומתחתם ובהפרשותיהם מעשירים את הקרקע בחומר אורגני עשיר בחנקן (צעדי, 1999). לעומת זאת, קליטת המים המוגברת על ידי שורשי השיחים גורמת להפרשת מלח, הן ישירות והן בעקיפין (תוך ריכוזם בחלקי העלים או שטיפתם במי הגשם מחלקי הצמחים אל הקרקע) ומגדילה, בדרך כלל, את רמות המליחות בקרקע שמתחתם (Evenari et al., 1982).

מכלל המשתנים שנבדקו, לגבי כלל הצמחים, נמצאו חמישה גורמים מבין השבעה אשר הראו הבדלים מובהקים בין הקרקע מתחת לשיחים ומחוץ להם, ואשר יכולים לתרום למודל מקור-מבלע: (1) החוזק הדרוש לשבירת פני הקרקע; (2) המליחות; (3) נקודת הרוויה; (4) נשימת הקרקע; (5) הפחמן האורגני. לא נמצאו הבדלים ב-pH (טבלה 2). בצמחים כגון מלוח מלבין ורותם המדבר, אשר גבוהים משאר השיחים שנבדקו, לא

לסיכום, עבודה זו מחזקת את מודל יחסי מקור-מבלע בין כמערכת אקולוגית דו-תמית מאפשרת להבין טוב יותר את קרומי קרקע ושיחים ומראה שההתייחסות לאזורים צחיחים הייצור והמגוון הביולוגי של אזורים אלה.

תודות

למשה שחק וסול ברנד על הסיוע בעריכת המאמר.

מקורות

- צעדי א' (1999). קרומי קרקע ביולוגיים ותפקידם במערכת אקולוגית מדברית. אקולוגיה וסביבה 5: 77-84.
- צעדי א' (1999). מעגל החנקן בכתמיית המדברית. אקולוגיה וסביבה 5: 70-76.
- Abrahams, A.D., Parsons, A.J. & Wainwright, J. (1994). Resistance to overland flow on semiarid grassland and shrubland hillslopes, Walnut Gulch, southern Arizona. *Journal of Hydrology* 156: 431-446.
- Allen, E.B. (1991). Temporal and spatial organization of desert plant communities. In: *Semiarid lands and deserts: Soil resource and reclamation* (J. Skujins, Ed.), pp. 193-208, Marcel Dekker, New York.
- Anderson, J.P.E. & Domsch, K.H. (1978). Mineralization of bacteria and fungi in chloroform fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10: 207-213.
- Bar-Or, Y. & Danin, A. (1989). *Mechanisms of cyanobacterial crust formation and soil stabilization in the northwestern Negev*. Israel. Society of Microbiology, Haifa, 13 pp.
- Bar-Or, Y. & Shilo, M. (1988). The role of cell-bound flocculants in coflocculation of benthic cyanobacteria with clay particles. *FEMS Microbiological Ecology* 53: 169-174.
- Belnap, J. (1993). Recovery rates of cryptogamic crusts: inoculant use and assessment methods. *Great Basin Naturalist* 53: 89-95.
- Belnap, J. & Lange, O. (Eds.). (2001). *Biological soil crusts: Structure, function and management*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Ben-Dor, E. & Banin, A. (1989). Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple "loss-on-ignition" method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 20, 1675-1696.
- Boeken, B. & Shachak, M. (1994). Desert plant communities in human-made patches-implications for management. *Ecological Applications* 4, 702-716.
- Campbell, S.E., Seeler, J.S. & Golubic, S. (1989). Desert crust formation and soil stabilization. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 3: 217-228.
- Cross, A.F. & Schlesinger, W.H. (1999). Plant regulation of soil nutrient distribution in the Northern Chihuahuan desert. *Plant Ecology* 145: 11-25.
- Dan, J., Yaalon, D., Kundzimzinsky, H. & Raz, Z. (1977). *The Soil of Israel*. Agriculture research organization, soil and water conservation, Ministry of Agriculture Publication. (in Hebrew), Bet-Dagan, Israel, 37 pp.
- Eldridge, D.J. & Greene, R.S.B. (1994). Assessment of sediment yield by splash erosion on a semiarid soil with varying cryptogam cover. *Journal of Arid Environments* 26: 221-232.
- Eldridge, J.D., Zaady, E., Shachak, M. & Myers, C. (1999). Control of desertification by microphytic crusts in a Negev desert shrubland. In: *Desertification and Soil Processes: Sixth International Rangeland Congress Proceedings* 1: 111-113.
- Eldridge, D.J., Zaady, E. & Shachak, M. (2000). Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev, Israel. *Catena* (40)3, 323-336.
- Eldridge, D.J., Zaady, E. & Shachak, M. (2002). Microphytic crusts, shrub patches and water harvesting in the Negev desert: The shikim system. *Landscape Ecology*. 17: 587-597.
- Evenari, M. (1985). The desert environment. In: *Hot Deserts and Arid Shrublands*, Vol. 12A: Ecosystems of the World (Evenari, M. Noy-Meir, I. & Goodall, D.W. Eds.), pp. 1-22, Elsevier, Amsterdam.
- Evenari, M., Shanan, L. & Tadmor, N. (1982). *The Negev: The Challenge of a Desert*. Harvard University Press, Cambridge. pp. 437.
- Feinbrun-Dothan, N. & Danin, A. (1991). *Analytical Flora of Eretz-Israel*. Cana Publishers, Jerusalem, Israel, 1040 pp.
- Garner, W. & Steinberger, Y. (1989). A proposed mechanisms for the formation of 'fertile islands' in desert ecosystems. *Journal of Arid Environments* 16: 257-262.
- Gilad, E., von Hardenberg, J., Provenzale, A., Shachak, M. & Meron, E. (2004). Ecosystem Engineers: From pattern formation to habitat creation. *Phys. Rev. Lett.* 93, 98-105.
- Noy-Meir, I. (1985). Desert ecosystem structure and function. pp. 93-103. In: Evenari, M. et al (Eds.). *Hot Deserts and Arid Shrublands*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

- Rostango, C.M. (1989). Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. *Journal of Range Management* 42: 382–385.
- Schlesinger, W.H., Raikes, J.A., Hartley, A.E. & Cross, A.F. (1996). On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology* 72: 364–374.
- Shachak, M. & Lovett, G.M. (1998). Atmospheric particle deposition to a desert ecosystem and its implications for conservation and management. *Ecological Application* 8: 455–463.
- Shachak, M., Sachs, M. & Moshe, I., (1998). Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems* 1, 475–483.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. (1995). *Biometry* (3rd ed.), Freeman, W. H. & Company, San Francisco, 859 pp.
- Stockton, P.H. & Gillette, A.D. (1990). Field measurement of the sheltering effect of vegetation on erodible land surfaces. *Land Degradation and Rehabilitation* 2: 77–85.
- West, N.E. (1989). Spatial pattern-functional interactions in shrub-dominated plant communities. In: *The Biology and Utilization of Shrubs* (C.M. McKell, Ed.), pp. 283–305. Academic Press, London.
- West, N.E. (1990). Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Adv. Ecol. Res.*, 20: 179–223.
- Yair, A. & Shachak, M. (1987). Studies in watershed ecology of an arid area. Pages 145–193 in L. Berkofsky & M.G. Wurtele, (Eds.). *Progress in Desert Research*. Rowman & Littlefield, Totowa, USA.
- Zaady, E. & Shachak, M. (1994). Microphytic soil crust and ecosystem leakage in the Negev desert. *American Journal of Botany* 81: 109.
- Zaady, E., Groffman, P. & Shachak, M. (1996). Release and consumption of snail feces in Negev desert soils. *Biology & Fertility of Soils* 23: 399–404.
- Zaady, E., Gutterman, Y. & Boeken, B. (1997). The germination effects of cyanobacterial soil crust on mucilaginous seeds of three desert plants: *Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata* and *Carrichtera annua*. *Plant and Soil* 190: 247–252.
- Zaady, E., Groffman, P. & Shachak, M. (1998). Nitrogen fixation in macro and microphytic patches in the Negev desert. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 449–454
- Zaady, E., Shachak, M. & Moshe, Y. (2001). Ecological approach for afforestation in arid regions of the northern Negev desert, Israel. In: Vajpeyi, D. (Ed.), *Deforestation, environment and sustainable development, A comparative analysis*. Greenwood Publishing Group, INC. CT, USA. pp. 219–238.
- Zaady, E., Levacov, R. & Shachak, M. (2004). Application of the herbicide, Simazine, and its effect on soil surface parameters and vegetation in a patchy desert landscape. *Arid Land Research and Management* 18: 397–410.