

שירה שלי

המחלקה לגאולוגיה, אוניברסיטת בן
גוריון בנגב

לנה ז'בלב

המחלקה לגאוגרפיה ומדעי הסביבה,
אוניברסיטת בר-אילן

ורד זיסו

המחלקה לגאוגרפיה ופיתוח סביבתי,
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

פועה בר (קוטיאל)

המחלקה לגאוגרפיה ופיתוח סביבתי,
אוניברסיטת בן גוריון בנגב

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

שלי ש, ז'בלב ל, זיסו ו ובר (קוטיאל)
פ. 2011. שינויים מרחביים בתכונות
הקרקע בדיונות חול – המקרה של
חולות ניצנים. *אקולוגיה וסביבה*
2(4).



שינויים מרחביים בתכונות הקרקע בדיונות חול – המקרה של חולות ניצנים

6 בנובמבר, 2011

גיליון חורף 2011 / כרך 2(4)

[חזית המחקר](#)

על קצה המזלג

סיכום ומשמעויות

נכתב על-ידי פועה בר (קוטיאל)

המאמר מתאר מחקר שנערך בחולות החוף בישראל, שנופם מורכב מדיונות ומהשקעים שביניהן. הדיונות נבדלות זו מזו ברמת כיסוי הצומח שעליהן, וזו משפיעה על מידת ניידותן. ככל שכיסוי הצומח גבוה, יורדת מידת הניידות, ומכאן שניתן לסווג את הדיונות לדיונות נודדות, נודדות למחצה ומיוצבות. כיסוי הצומח בשקעים גבוה, הרבה יותר מאשר על גבי הדיונות המיוצבות. במחקר נמצאו הבדלים משמעותיים בתכונות הקרקע בין: טיפוס הדיונות השונים, השקעים והדיונות, והשטחים הפתוחים שבין השיחים בהשוואה לשטחים שמתחת להם. לא נמצאו הבדלים בין השקעים השונים. ההבדלים מתבטאים בלחות קרקע ובקצב חלחול גבוהים בדיונות הנודדות ובשטחים הפתוחים שבין השיחים בהשוואה לדיונות המיוצבות למחצה, המיוצבות, השקעים והשטחים מתחת לשיחים. מגמה הפוכה מתקבלת עבור החומר האורגני בקרקע. המסקנה העיקרית היא שהדיונות הנודדות והשטחים הפתוחים שבין השיחים קולטים את עיקר מי הגשמים, מחדירים אותם לעומק, ומספקים מים לשיחים בדיונות ובשקעים בתקופת הקיץ.

מחקר זה מצביע על חשיבותם של דיונות נודדות ושטחים פתוחים בין השיחים למשטר המים בחולות החוף, מאחר שהם אחראים לחדירת מי הגשמים לאקוות החוף ולקיומו של הצומח בדיונות ובשקעים. לעובדה זו חשיבות רבה בנקודת הזמן הנוכחית, שבה דיונות החוף נמצאות בתהליך של התייצבות. יתרה מכך, בדיונות הנודדות מתקיימים צמחים ובעלי חיים ייחודיים לחולות הנודדים, שחלקם אף אנדמיים לאזורנו. כדי לשמור על המינים הללו ולהבטיח

חידור של כלל מי הגשמים לקרקע, יש לפעול למניעת התייצבות של חלק מהדיונות וזאת על-ידי הסרת הצומח באמצעים שונים – כריתה ורעייה.

תקציר

יחסי הגומלין בין תכונות הקרקע לצומח בולטים במיוחד באזורי דיונות יובשניים למחצה, ובאים לידי ביטוי במשובים הביופיזיקליים, שהם גורמים מכריעים בקביעת רמת הייצוב של הדיונות. מטרת המחקר היו (א) לבדוק את ההבדלים המרחביים בתכונות השכבה העליונה של הקרקע בהסתכלות רחבה הבוחנת את רמת ייצוב הדיונות והשקעים שביניהן, ובהסתכלות מקומית על כתמי צומח: מתחת לשיח ובשטח הפתוח הסמוך לו; (ב) לבחון את הקשרים בין ממצאי ההסתכלות הרחבה ובין ממצאי ההסתכלות המקומית ולהציע מודל הקושר ביניהם. המחקר התבצע בשמורת ניצנים במאי 2009 ובמהלכו נבדקו כמות הנשר ליחידת שטח, המוליכות ההידראולית (קצב חלחול המים בקרקע), צבע החול (מדד של בהירות ורוויה) ולחות הקרקע. התוצאות מראות כי תכונות הקרקע של הדיונות שונות באופן מובהק מאלה שבשקעים הסמוכים להן. הדיונות הנודדות שונות באופן מובהק בכל התכונות שנבדקו מטיפוסי הדיונות האחרים. ההבדלים בין השקעים השונים קטנים יחסית בהשוואה להבדלים בין טיפוסי הדיונות, והם ניכרים בעיקר בין השקעים הצמודים לדיונות נודדות לבין שאר טיפוסי השקעים, ובולטים במיוחד במוליכות ההידראולית. באשר לכתמים, נמצא הבדל מובהק בין הכתם מתחת לשיח לבין הכתם בשטח הפתוח, בלי תלות בסוג השקע או הדיונה. ההשוואה בין הכתמים הפתוחים שבין השיחים לבין הכתמים מתחת לשיחים דומה באופן עקרוני להשוואה שבין הדיונות לשקעים. השינויים בתכונות הקרקע בתהליך ההתייצבות של הדיונה מתבטאים בעיקר בירידה במוליכות ההידראולית, בעלייה בכמות הנשר ובהתכהות צבע הקרקע, אך עדיין ערכי המדדים הללו בדיונות המיוצבות נמוכים באופן מובהק מאלה שבשקעים. למעשה, הדיונות הנודדות הן בעלות הפוטנציאל הגבוה ביותר להחדרת מים לקרקע, ואליהן מצטרפים כלל הכתמים הפתוחים שמצויים בכל טיפוסי הדיונות והשקעים. תוצאות אלו מחזקות את חשיבות הדיונות הנודדות לאורך רצועת החוף של ישראל כמקור קלט מרכזי לאקוות החוף. מערכת כוללת דו-כתמית, בכל קנה מידה, חיונית לקיומה של מערכת הטרוגנית: ככל שהשטח הפתוח מצטמצם, רמת ההומוגניות המרחבית גדלה, דבר המתבטא באופן מיוחד בשקעים שבין הדיונות.

מבוא

ההטרונות המרחבית בתכונות הקרקע באזורי צחיחים וצחיחים למחצה היא רבה וקיצונית, ומשפיעה על הצומח ועל המשובים שלו [32]. יחסי גומלין אלה בולטים במיוחד באזורי דיונות [7, 8, 15, 18, 19], שבהם הצומח משפיע על הקרקע, וזו משפיעה מנגד על הצומח. הצומח הוא גורם מכריע בקביעת רמת הנדידה או ההתייצבות של הדיונה [5, 21, 28, 30].

מרכיב העיקרי של החול הוא מינרל הקוורץ, שאינו נוטה לספוח מים, ועל כן קרקע חולית מתאפיינת בתאחיזת מים נמוכה [11, 19, 22]. בדיונות מתחיל תהליך היווצרות של קרקע רק עם התבססותם של הצמחים על גבי הדיונות הנודדות [3]. התבססותם של אלה מתאפשרת רק במקומות שבהם מהירות הרוח ופוטנציאל הסחיפה של החול נמוכים [27, 30]. הצמחים תורמים גם הם להאטת מהירות הרוח, וגורמים להשקעת אבק בסביבתם הקרובה [13, 22, 26]. בה בעת תורמים הצמחים נשר לפני השטח, שמתפרק והופך לחומר האורגני שבקרקע [8, 10]. הצטברות האבק והחומר האורגני משפרת את משטר המים וחומרי המזון בשכבת הקרקע העליונה [15, 22, 31]. שיפור במשטר המים מאפשר פירוק מהיר יותר של הנשר לחומרי המזון השונים. בתנאים אלה כיסוי הצומח עולה, והרכבו משתנה [8, 15, 19]. בעקבות זאת מתייצבת הדיונה, ונוצרת קרקע שבשלב ראשון היא בעלת אופק A-C – שכבת הקרקע העליונה המכילה חומר אורגני, C – שכבה עמוקה יותר, שממנה נוצרת הקרקע [3, 16]. השינוי בהרכב ובכיסוי הצומח מעודד סדרה של משובים ביופיזיקליים, הגורמים לשיפור תכונות הקרקע עם הזמן וליצירת הטרונות רבה במרחב [18, 26]. השינויים בקרקע כוללים שינויים במבנה, במרקם, בצבע ובפוריות [3, 8, 18, 22, 31]. מכיוון שבישראל עוצמת הרוח חלשה [28], הצומח מתבסס בקלות יחסית. המעבר מדיונה נודדת לדיונה מיוצבת אורך כ-30 שנה [17], ומשך הזמן נעשה קצר עוד יותר במקרה של התפשטות מין פולש, כדוגמת שיטה כחלחלה [9] (*Acacia saligna*).

נשר שמקורו בצמחים נערם בעיקר מתחת לשיחים. תהליך פירוק הנשר מלווה גם בשינוי צבע החול מצהוב ועד לשחור, כתלות בכמות הנשר. כמו כן, קיים קשר חיובי הדוק בין הכיסוי והבידום של הצומח לבין קיבול השדה של הקרקע החולית [18]. מכאן,

שההבדלים במרחב בכמות החומר האורגני בקרקע ישתנו בהתאם לרמת ייצוב הדיונה ואף בהתאם לנוכחות השיח או לאי נוכחותו.

יכולת חידור המים לקרקע חולית, משתנה גם היא במרחב. במקומות שכיסוי הצומח בהם צפוף או שקיימת שכבת קרום ביוגני עבה, יקטן שיעור חידור המים לקרקע, אם משום המחסום הפיזיקלי שיוצרים הקרום^[22, 25, 31] או שכבת הנשר, או משום התכונות ההידרופוביות שמתפתחות בפני הקרקע בגלל הנשר^[1]. כתוצאה מחידור נמוך ייתכן אף נגר עילי^[22, 29]. חידור המים לקרקע אינו בהכרח אנכי ויכול להיות גם אופקי^[11, 29]. בדיונה בעלת מקטעים דקים שיוצרים שיכוב, בעיקר במדרונות, ו/או בדיונה בעלת כיסוי שיחי, חזית ההרטבה עשויה להיות אופקית יותר מאשר באזור בעל מקטע גס (חולי) או חסר צומח, שחזית ההרטבה בו עשויה להיות בעיקרה אנכית. Ravi ועמיתיו^[26] מראים ששטף החידור מתחת לחופת השיח נמוך יותר מאשר במעלה או במורד השיח, מאחר שהמקטעים הדקים (סילט וחרסית) וכן שורשי הצמחים, המצויים בשפע באזור זה, מקשים על החידור, וזאת עקב יצירת חללים קטנים ובגלל עלייה בכושר תאחיזת המים בפני הקרקע.

חלק אחר של הקרקעות באזור דיונות החוף בישראל נוצר מסחף אלובי-חרסיתי וחרסיתי-חולי, ששקע בשקעים שבין הדיונות, בפשטי הצפה ובמרבצות שבין רכסי הכורכר. על פי עבודתם של Alvarez-Rogel ועמיתיו^[7], העושר היחסי של סילט וחרסיות בפני הקרקע בשקעים בהשוואה לכמותם בדיונה, עלול להקטין את שטף חידור המים לקרקע. גם אלמוג^[1] מציין שכמות המים החודרת לקרקע בשקעים, קטנה באופן משמעותי בהשוואה לדיונות. ממצא זה מסביר את קיומם של צמחים מדבריים בכיסוי גבוה באזור הים תיכוני, שכמות המשקעים השנתית הממוצעת בו היא 500 מ"מ.

מטרות מחקר זה היו (א) לבדוק את ההבדלים המרחביים בתכונות השכבה העליונה של הקרקע מבחינת רמת ייצוב הדיונות והשקעים שביניהן, ובהסתכלות מקומית על כתמים: מתחת לשיח ובשטח הפתוח הסמוך לו; (ב) להצביע על הגורמים להבדלים המרחביים ולהציע מודל הקושר ביניהם.



זשפש החומעה / צילום: פועה בר (קוטיאל)

שטח המחקר

שמורת חולות ניצנים ממוקמת בדרום מישור החוף בין העיר אשדוד בצפון ואשקלון בדרום, ובין הים במערב וכביש 4 במזרח (נקודות הציון – בגירסה המודפסת). שטח השמורה הוא 20,000 דונם. כ-60% משטח הדיונות מורכב מדיונות מיוצבות למחצה, והיתר דיונות נודדות (20%) ומיוצבות (20%). בין הדיונות משתרעים השקעים (איור 1). כיסוי וחברות הצומח הרב-שנתי

והחד-שנתי בשמורה משתנים בהתאם לרמת ייצוב הדיונה. כיסוי הצומח נע בין 10–15% בדיונות נודדות, 16–35% בדיונות מיוצבות למחצה ומ-30% ועד 60% כיסוי בדיונות מיוצבות [24]. המינים הרב-שנתיים השולטים בדיונות הנודדות הם ידיד החולות (*Ammophila arenaria*) וקיפודן פלישתי (*Echinops philistaeus*), ובדיונות המיוצבות למחצה והמיוצבות – לענה חד-זרעית (*Artemisia monosperma*) ורותם המדבר (*Retam raetam*). כיסוי הצומח הרב-שנתי בשקעים שבין הדיונות הוא 60–80%, והמינים השולטים הם לענה חד-זרעית ורותם המדבר. מינים ים תיכוניים טיפוסיים אחרים כמו אספרג החורש (*Asparagus aphyllus*) ופרסיון גדול (*Prasium majus*) מצטרפים אליהם. האזור מאופיין באקלים ים תיכוני עם טמפרטורה שנתי ממוצעת של 19–21 מעלות צלזיוס כמות המשקעים השנתית הממוצעת נעה בין 400 ל-500 מ"מ, היורדים במהלך החודשים אוקטובר–מאי [17].



איור 1. אזור שמורת ניצנים - דיונות ושקעים / צילום: פועה בר (קוויאל)

שיטות

עבודת השדה נעשתה בשמורת ניצנים בחודש מאי 2009. כמות הנשר ליחידת שטח, קצב חידור המים, צבע הקרקע (מדד של בהירות ורוויה) ולחות הקרקע נמדדו בשלושה טיפוסים דיונות, שלוש דיונות מכל טיפוס: דיונות נודדות, דיונות מיוצבות למחצה ודיונות מיוצבות (תשע דיונות בסך הכול). בכל דיונה נבחרו אקראית ארבעה מקומות שנעשו בהם בדיקות של חידור מים שעל פיהן חושבה המוליכות ההידראולית (כמוסבר בהמשך). נלקחו דגימות קרקע: ארבע בדיקות ודגימות מתחת לשיח (ברוב המקרים תחת לענה חד-זרעית מפותחת) וארבע בדיקות ודגימות בשטח הפתוח הסמוך לשיח. באופן דומה נעשו בדיקות ונלקחו דוגמאות מהשקעים הצמודים לתשע הדיונות שנזכרו לעיל בצד הדרום-מערבי שלהן – הצד שפונה לכיוון הרוח. בסך הכול נדגמו תשעה שקעים.

שיעור חידור מים לקרקע

מידת חדירות הקרקע למים נמדדה בנקודות שנבחרו על-ידי Minidisk Infiltrometer (בעל דיוק של 1 מ"ל) והתבצעה על-ידי מדידת נפח מצטבר של המים שחדרו לקרקע במרווחי זמן קבועים. חידור המים בסוגי הקרקעות השונים נעשה בקצב שונה, התלוי בכוח יניקת הקרקע.

המוליכות ההידראולית של הקרקע k מחושבת על-ידי הנוסחה: $k=C_1/A$

k הוא המוליכות ההידראולית של הקרקע, C₁ הוא השיפוע של עקומת החידור המצטבר כנגד שורש זמן, ו-A הוא פרמטר המקשר בין תכונות הקרקע (ערך van Genuchten) לקצב היניקה ולרדיוס הדיסק של המכשיר. במחקר זה נלקח הערך של A עבור חול מטבלה שנמצאת בחוברת ההדרכה המלווה את המכשיר (Minidisk Infiltrrometer User's Manual).

לחות קרקע

דוגמאות קרקע נאספו מעומק של 50 ס"מ והוכנסו לצנצנות זכוכית. הצנצנות נאטמו עד לשקילה בסוף כל יום עבודה. הדוגמאות נלקחו למעבדה ויובשו בתנור בטמפרטורה של 64 מעלות צלזיוס במשך שלושה ימים, שבמהלכם נשקלו הדוגמאות שלוש שקילות, עד שנמצא כי אין שינוי במשקלן (אחוז החרסיות בחול הדיונות קטן מאוד, ולכן די בטמפרטורת ייבוש של 64 מעלות כדי להבטיח ייבוש מלא). השקילה התבצעה בעזרת מאזניים חצי-אנליטיים בדיוק של 0.01 גרם. משקל הצנצנות הופחת מתוצאות השקילה הקודמת. לחות הקרקע באחוזים חושבה על-ידי החסרת המשקל היבש של הקרקע מהמשקל הרטוב שלה.

נשר- הנשר נאסף מפני השטח (1-2 ס"מ), בין השיחים ומתחת להם, משטח של 30X30 ס"מ. מכל דגימה הוצאו חול ושיירי צדפות, שבלולים ופרוקי רגליים. לאחר מכן נופו הדוגמאות בעזרת נפה בעלת פתחים בגודל 2 מ"מ. ייבוש הנשר נעשה בתנור בטמפרטורה של 64 מעלות במשך שלושה ימים. הנשר נשקל במאזניים חצי-אנליטיים בדיוק של 0.01 גרם.

צבע הקרקע

צבע הקרקע הוגדר בעזרת טבלת מונסל (Munsell chart), המגדירה צבע במרחב תלת-ממדי ^[14].

בכל נקודת דגימה נלקחו שתי דוגמאות קרקע מ-3 הס"מ העליונים, וצבען הוגדר בעזרת טבלת מונסל במצב יבש וכן במצב רטוב, לאחר שהורטבו.

ניתוח סטטיסטי של הנתונים כלל חישוב ממוצעים והפעלת מבחן Duncan's Multiple Range לבחינת רמת מובהקות ההבדלים בין התוצאות שהתקבלו עבור כל אחד מטיפוסי הדיונות, השקעים והכתמים השונים (מתחת ומחוץ לשיח) ברמת מובהקות של $p \leq 0.05$.

תוצאות

זכונות הקרקע של הדיונות שונות באופן מובהק מאלה שבשקעים הסמוכים להן (טבלה 1). המוליכות ההידראולית בדיונות גבוהה פי חמישה מאשר בשקעים, ומושפעת בעיקר מהשטחים הפתוחים שבין השיחים, ובפרט מאלה המצויים בדיונות הנודדות (איור 2). רטיבות הקרקע בעומק 50 ס"מ גבוהה בדיונות בהשוואה לשקעים, כמעט פי שניים, אולם כמות הנשר בשקעים גבוהה באופן מובהק פי שלושה מאשר בדיונות, ונתרמת בעיקר מהכמות שמצטברת מתחת לשיחים (טבלה 1, איור 3). צבע החול בדיונות (מדד של בהירות ורוויה) בהיר יותר באופן מובהק בהשוואה לשקעים, וכולט כאשר ההשוואה נעשית בעזרת קרקע רטובה (טבלה 1).

טבלה 1: ההבדלים בתכונות הקרקע בין השקעים לדיונות ובין כתמים פתוחים לכתמים מתחת לשיח (ממוצע של כלל: הדיונות, השקעים, הכתמים פתוחים והכתמים מתחת לשיח)
האותיות מציינות את רמת מובהקות ההבדלים בין דיונה לשקע ובין כתם פתוח לכתם שיח ברמת מובהקות של $p \leq 0.05$. אותיות שונות = מובהק, אותיות זהות = לא מובהק. *ערכים שהתקבלו עבור קרקע רטובה. n = מספר דגימות.

תכונה	דיונה	שקע	כתם פתוח	כתם מתחת לשיח
מוליכות הידראולית (מ"מ לשעה)	4,990 A (n=72)	1,055 B (n=24)	5,344 A (n=48)	2,668 B (n=48)
לחות קרקע בעומק 50 ס"מ (%)	1.13 A (n=70)	0.7 B (n=23)	1.2 A (n=47)	0.83 B (n=46)
כמות נשר (גרם למ"ר)	216 B (n=72)	605 A (n=24)	105 B (n=48)	521 A (n=48)
צבע - מדד בהירות*	5.27 A (n=70)	3.57 B (n=23)	5.31 A (n=48)	4.36 B (n=45)
צבע - מדד רוויה*	6.24 A (n=70)	3.26 B (n=23)	6.02 A (n=48)	4.96 B (n=45)

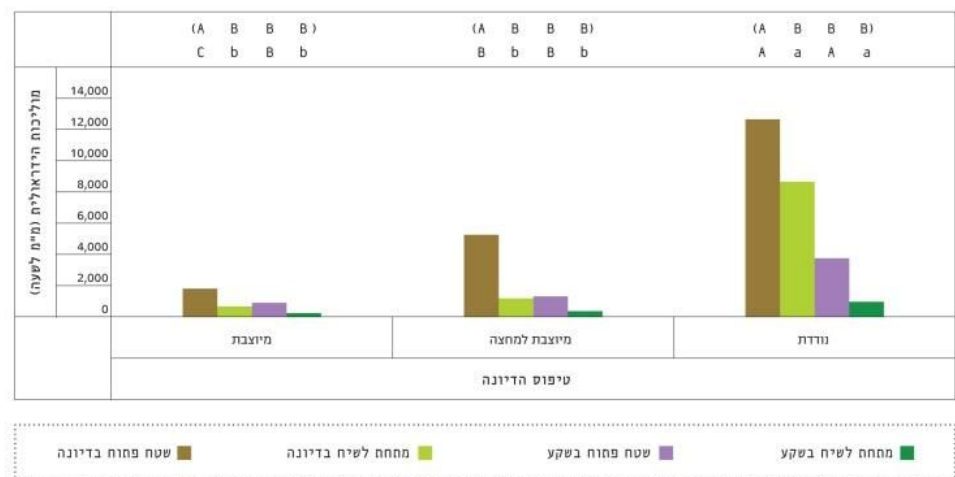
טבלה 1

ההבדלים בתכונות הקרקע בין השקעים לדיונות ובין כתמים פתוחים לכתמים מתחת לשיח (ממוצע של כלל: הדיונות, השקעים, הכתמים פתוחים והכתמים מתחת לשיח)

האותיות מציינות את רמת מובהקות ההבדלים בין דיונה לשקע ובין כתם פתוח לכתם שיח ברמת מובהקות של $p \geq 0.05$. אותיות שונות = מובהק, אותיות זהות = לא מובהק.

*ערכים שהתקבלו עבור קרקע רטובה. n = מספר דגימות.

איור 2: המוליכות ההידראולית בטיפוסים השונים של הדיונות, השקעים והכתמים (מחוץ ומתחת לשיח)
האותיות השונות מייצגות את מובהקות ההבדלים בין האפשרויות השונות (בתוך כל טיפוס דיונה – שורה האותיות העליונה, ובין הכתמים בטיפוסים השונים – שורה האותיות התחתונה). האותיות מייצגות בהתאמה את גודל הערכים) ברמת מובהקות של $p \leq 0.05$.

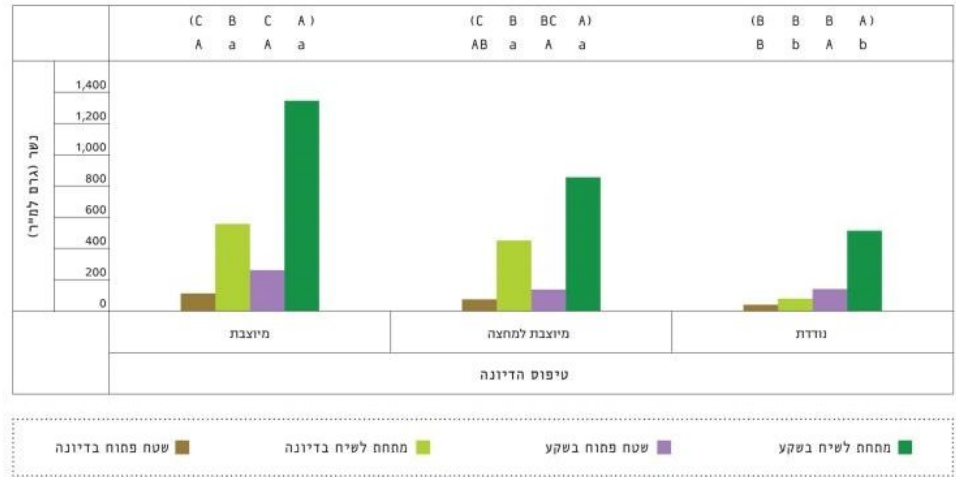


איור 2

המוליכות ההידראולית בטיפוסים השונים של הדיונות, השקעים והכתמים (מחוץ ומתחת לשיח)

האותיות השונות מייצגות את מובהקות ההבדלים בין האפשרויות השונות (בתוך כל טיפוס דיונה – שורה האותיות העליונה, ובין הכתמים בטיפוסים השונים – שורה האותיות התחתונה). האותיות מייצגות בהתאמה את גודל הערכים) ברמת מובהקות של $p \geq 0.05$.

איור 3. משקל יבש של הנשר בטיפוסים השונים של הדיונות, השקעים והכתמים (מחוץ ומתחת לשיח)
האותיות השונות מייצגות את מובהקות ההבדלים בין האפשרויות השונות (בתוך כל טיפוס דיונה – שורת האותיות העליונה – ובין הכתמים בטיפוסים השונים – שורת האותיות התחתונה. האותיות מייצגות בהתאמה את גודל הערכים) ברמת מובהקות של $p \leq 0.05$.



איור 3

משקל יבש של הנשר בטיפוסים השונים של הדיונות, השקעים והכתמים (מחוץ ומתחת לשיח)

האותיות השונות מייצגות את מובהקות ההבדלים בין האפשרויות השונות (בתוך כל טיפוס דיונה – שורת האותיות העליונה – ובין הכתמים בטיפוסים השונים – שורת האותיות התחתונה. האותיות מייצגות בהתאמה את גודל הערכים) ברמת מובהקות של $p \geq 0.05$.

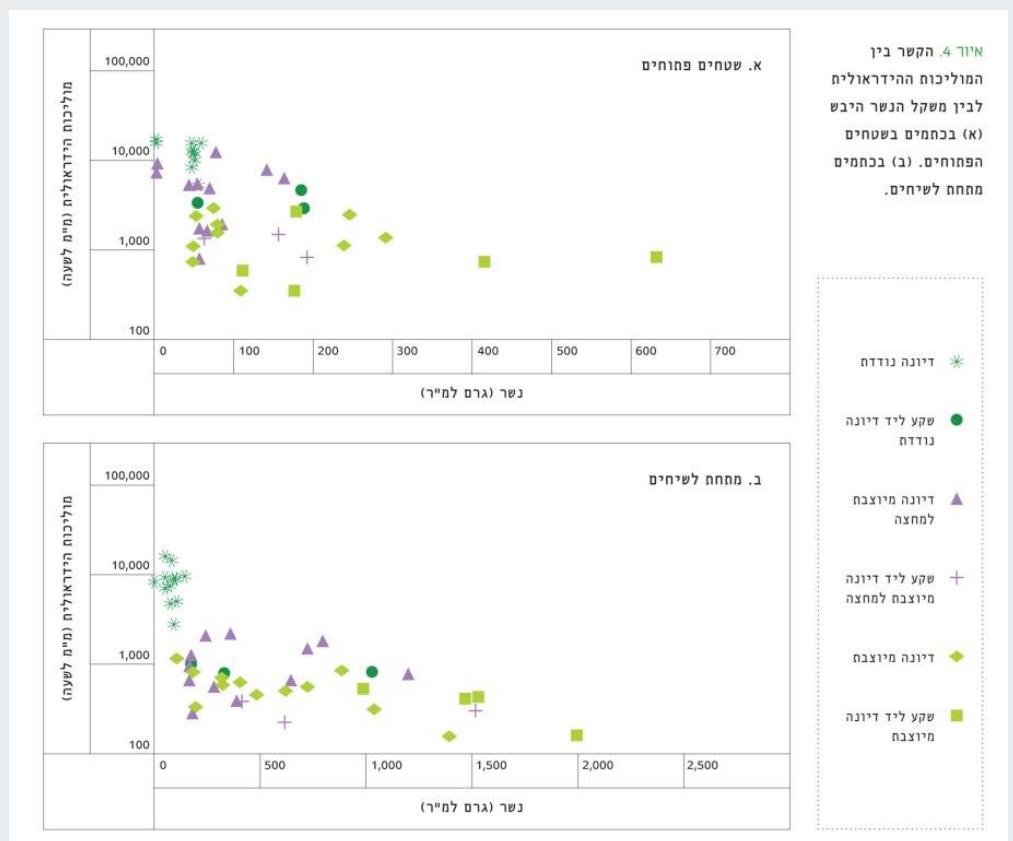
נמצאו הבדלים בתכונות הקרקע בין רמות הייצוב השונות של הדיונות, אם כי לא בכל המקרים ההבדלים מובהקים. הדיונות הנוודות שונות באופן מובהק מטיפוסי הדיונות האחרים במוליכות ההידראולית, בכמות הנשר, ברמת בהירות צבע הקרקע (6.00 לעומת 4.25 ו-3.90, לדיונות נוודות, מיוצבות למחצה ומיוצבות בהתאמה. ככל שהמספר גדל הבהירות עולה) וברמת רוויית צבע הקרקע (7.67, 4.83 ו-4.40 בהתאמה. הרוויה עולה ככל שהמספר גבוה יותר) (איורים 2 ו-3). לעומת זאת, הדיונות המיוצבות למחצה דומות לדיונות הנוודות (כלומר אין ביניהן הבדל מובהק) בלחות הקרקע מתחת לשיח (1.2% ו-1.0% לעומת 0.5% במיוצבות), אך דומות לדיונות המיוצבות בכמות הנשר (איור 3) וברמת בהירות ורוויית צבע הקרקע.

המוליכות ההידראולית קטנה באופן מובהק עם העלייה ברמת הייצוב, והירידה חדה מאוד במעבר מדיונה נוודת לדיונה מיוצבת למחצה (איור 2). לחות הקרקע גם היא יורדת עם העלייה ברמת הייצוב. לעומת זאת, כמות הנשר עולה עם הייצוב ונמצאה מובהקת במעבר מדיונה נוודת לדיונה מיוצבת למחצה. כמות הנשר בדיונה מיוצבת נעה בממוצע בין 100 (בשטח הפתוח) לכ-600 (מתחת לשיח) גרם למ"ר (איור 3). מגמה זוהי מתקבלת גם לגבי הצבע: צבע הקרקע כהה יותר בדיונות המיוצבות למחצה והמיוצבות בהשוואה לדיונות הנוודות.

ההבדלים בין השקעים השונים קטנים יחסית בהשוואה להבדלים בין טיפוסי הדיונות, והם ניכרים בעיקר בין השקעים הצמודים לדיונות נוודות לבין שאר טיפוסי השקעים, ובולטים במוליכות ההידראולית (איור 2). המוליכות ההידראולית בשקע הצמוד לדיונות הנוודות גבוהה באופן מובהק בהשוואה לשאר טיפוסי השקעים. אין הבדלים מובהקים בין השקעים בכמות הנשר (אם כי יש מגמה של עלייה משקע שצמוד לדיונה נוודת ועד לשקע שצמוד לדיונה מיוצבת) (איור 3) ובצבע הקרקע.

באופן כללי, קיים הבדל מובהק בין הכתם מתחת לשיח לבין הכתם הפתוח שבין השיחים, ללא כל קשר לסוג השקע או הדיונה (טבלה 1). המוליכות ההידראולית ומשטר המים בקרקע גבוהים יותר בכתם הפתוח מאשר בכתם שמתחת לשיח. המגמה הזו מושפעת בעיקר מהכתמים הפתוחים שבדיונות (איור 2). לעומת זאת, כמות הנשר מתחת לשיח גבוהה פי חמישה (טבלה 1) מזו שבכתם הפתוח, ומגמה זו מושפעת במידה רבה מכמות הנשר מתחת לשיחים (איור 3).

איור 4 ניתן לראות בבירור שהמוליכות ההידראולית גבוהה כאשר כמות הנשר קטנה מכ-100 גרם למ"ר. זהו ערך סף שמעבר לו המוליכות אינה מושפעת מעלייה בכמות הנשר. **באיור 3** ניתן לראות בבירור שכמות הנשר בכתמים הפתוחים נמוכה הן בדיונות הן בשקעים. לעומת זאת, בכתם מתחת לשיחים עולה כמות הנשר באופן חד במעבר מדיונה נוודת לדיונה מיוצבת למחצה, ואילו בשקעים המעבר חד מהשקע הסמוך לדיונה המיוצבת למחצה אל השקע הסמוך לדיונה המיוצבת.



איור 4

הקשר בין המוליכות ההידראולית לבין משקל הנשר היבש (א) בכתמים בשטחים הפתוחים. (ב) בכתמים מחתם לשיחים.

אם מתייחסים להבדלים בין הכתמים כתלות בטיפוס הדיונה או השקע, נמצא כי ההבדלים המובהקים בין סוגי הכתמים בדיונה הנוודת מתבטאים במוליכות ההידראולית (איורים 2 ו-4) ובמשטר המים בלבד, ואילו בדיונה המיוצבת ההבדלים בין הכתמים מובהקים עבור כמות הנשר (איורים 3 ו-4) וצבע הקרקע. לעומת זאת, עבור כל טיפוס השקעים, ההבדלים מובהקים רק במקרה של כמות הנשר, שהיא גדולה באופן מובהק בכתם מחתם לשיח בהשוואה לשטח הפתוח, ועולה באופן מובהק מהשקע שצמוד לדיונה הנוודת אל השקע שצמוד לדיונה המיוצבת (איור 3).

דיון

ולק גדול מהעבודות שעסקו בתכונות של קרקע חולית באזור דיונות נעשו בהסתכלות רחבה ובדקו דיונות בלבד [8, 12, 19]. אולם ההבדלים בתכונות הקרקע מתבטאים במערכת דינמית זו גם בהסתכלות מקומית. ההבדלים המקומיים הללו משפיעים באופן חד ומובהק על הפיזור של הצומח החד-שנתי [15, 18, 22, 31]. במחקר זה בדקנו את ההבדלים בתכונות הקרקע הן בהסתכלות רחבה (דיונות ושקעים) הן בהסתכלות מקומית (כתם פתוח ומחתם לשיח), המבטאים את השונות המרחבית והעתית, מתוך כוונה להבין את הקשרים בין היחידות הללו.

תכונות הקרקע בשקעים, שכיסוי הצומח הרב-שנתי בהם מגיע בממוצע לכ-70%, שונות באופן מובהק מאלו שנמצאו בטיפוסי הדיונות השונים, שנבדלים ביניהם ברמת הייצוב. המוליכות ההידראולית ומשטר המים בעומק 50 ס"מ בשקעים נמצאו נמוכים יחסית לאלה שנמצאו בדיונות. לעומת זאת, כמות הנשר גבוהה יותר באופן מובהק בשקעים, ובעקבות זאת צבע הקרקע כהה יותר בהשוואה לדיונות, וזאת עקב כיסוי הצומח הגבוה ותוספת החומר האורגני [8, 10, 15]. למוליכות ההידראולית וללחות הקרקע הנמוכות יכולות להיות סיבות רבות. המוליכות ההידראולית תלויה בתכונות פני הקרקע. ככל שאחוז המקטע הדק (סילט וחרסית) ואחוז החומר האורגני בקרקע עולים, המוליכות יורדת [17, 20, 24, 26]. כמו כן, מערכת השורשים יכולה גם היא להקטין את המוליכות ההידראולית [22, 25, 29, 31]. אחוז המים הנמוך בקרקע בשקעים יכול לנבוע גם הוא ממספר גורמים: מוליכות הידראולית נמוכה, ניצול המים על-ידי הצמחים, כמות מים נמוכה שמגיעה לקרקע בגלל לכידת המים בחופת הצמחים, ספיגת המים על-ידי שכבת הנשר שמתחת לחופת השיחים ותופעת ההידרופוביות [1]. על פי אלמוג [1], 40% ויותר מכמות הגשם השנתית בשמורת ניצנים לא מגיעה לקרקע שבשקעים.



רב-פרי בשרני



כפתור החולות



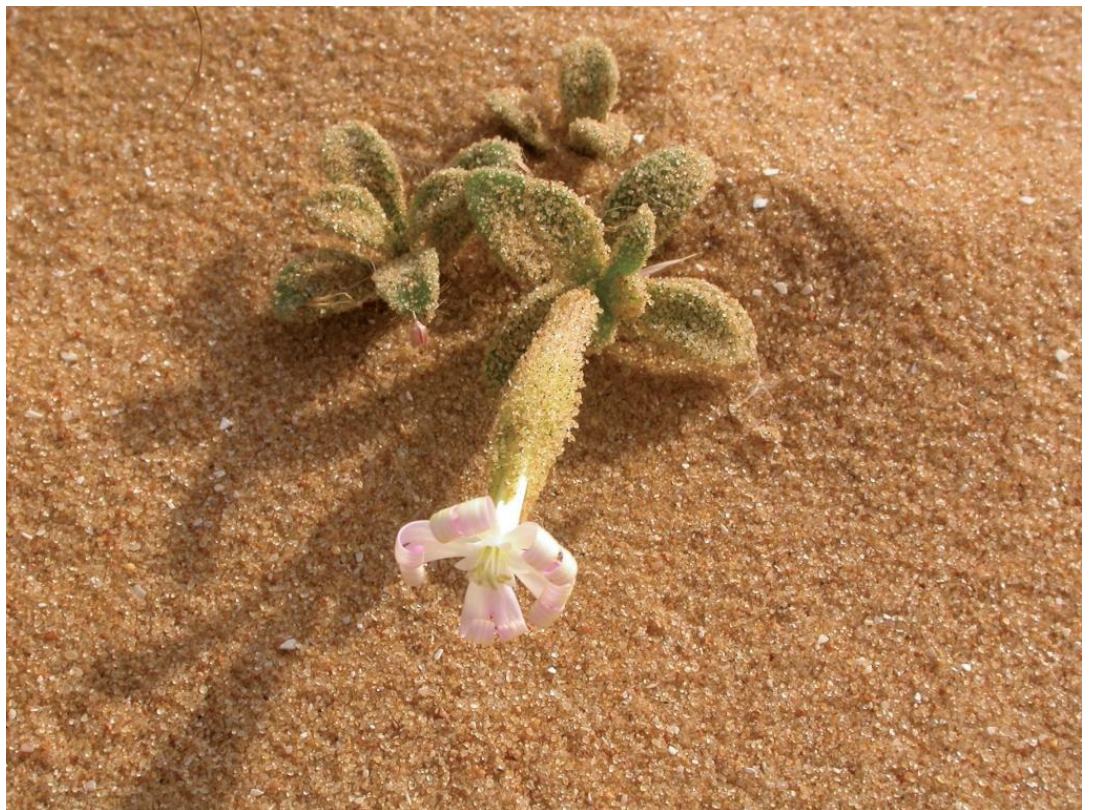
קיפודן פלישתי



רב-פרי בשרני



מרסיה יפהפיה



ציפורנית בשרנית

כדי לשמור על החי והצומח באזור הדיונות יש להבטיח חידור של כלל מי הגשמים לקרקע, באמצעות מניעת התייצבות של חלק

מהדיונות / צילומים: פועה בר (קוטיאל)

השינויים בתכונות הקרקע בתהליך ההתייבשות של הדיונה (נודדת, מיוצבת למחצה ומיוצבת) מתבטאים בעיקר בירידה במוליכות ההידראולית, בעלייה בכמות הנשר ובהתכוונו צבע הקרקע, אך עם זאת, ערכי המדדים הללו בדיונות המיוצבות נמוכים באופן מובהק מאלה שבשקעים. המוליכות ההידראולית הגבוהה ביותר נצפתה בדיונות הנודדות, שהחול בהן הומוגני למדי [11] ונעדר קרומים או מקטע דק. ברגע שכמות הנשר בקרקע מגיעה לכ-100 גרם למ"ר ויותר - יורדת המוליכות לערכים של פי עשרה ויותר מזו שבדיונות הנודדות. מכאן ניתן להסיק שלמעשה לדיונות הנודדות יש הפוטנציאל הגבוה ביותר להחדרת מים לקרקע בהשוואה לדיונות המיוצבות למחצה והמיוצבות. באופן דומה ניתן להתייחס לשינוי שחל בכמות הנשר עם תהליך ההתייבשות. עיקר הנשר מצטבר מתחת לשיחים. המעבר מדיונות נודדות לדיונות מיוצבות למחצה מלווה גם בירידה חדה במוליכות, אך גם בעלייה חדה בכמות הנשר ליחידת שטח, שהיא פי ארבעה ממה שנמצא בדיונות הנודדות. לעומת זאת, השינוי בכמות הנשר מדיונות מיוצבות למחצה לדיונות מיוצבות הוא קטן יותר והדרגתי, כשם שנמצא גם בעבודתם של Li ועמיתיו [22]. מכאן ניתן להסיק שעלייה בכיסוי הצומח או הנשר משפיעה על משטר המים בקרקע (ירידה במוליכות ההידראולית ובלחות הקרקע), אך אי אפשר להסיק באופן חד-משמעי את ההפך, והשאלה הנשאלת היא איך מסבירים את העלייה בכיסוי הצומח כשמשטר המים בקרקע יורד.

לעומת השינויים החדים שחלים בתכונות הקרקע עם התייבשותן של הדיונות, לא נצפו הבדלים מובהקים בין השקעים, שנבדלו ביניהם במיקומם ביחס לדיונה. באופן כללי השקעים דומים זה לזה. באלה מהם הצמודים לדיונות הנודדות נמצא שהמוליכות ההידראולית, ובמידה מסוימת גם לחות הקרקע, גבוהות בכתמים הפתוחים בהשוואה לשקעים האחרים, וייתכן כי הדבר נובע מתוספת החול המצטברת על פני הקרקע מהדיונות הנודדות. ככלל, ניתן להתייחס לשקעים כמערכת יצרנית מאוד בהשוואה לדיונות, אך גם כמערכת הומוגנית למדי מבחינת תכונות הקרקע – מוליכות הידראולית ולחות קרקע נמוכות וכמות נשר גבוהה.

ההשוואה בין הכתמים הפתוחים שבין השיחים לבין הכתמים מתחת לשיחים דומה באופן עקרוני להשוואה שבין הדיונות לשקעים. הכתמים הפתוחים הן בדיונות הן בשקעים קולטים את המים במידה רבה יותר מהכתמים שמתחת לשיחים [26]. גם משטר המים בעומק של 50 ס"מ טוב יותר בשטחים הפתוחים מאשר באלה שמתחת לשיחים, אך להבדל זה יכולות להתווסף סיבות נוספות, שנמנו כבר לעיל, ושאינן קשורות רק להבדלים במוליכות.



ימליה – חרק אופייני לאזור חולות ניצנים / צילום: פועה בר (קוטיאל)

ממחקר זה עולה שלמעשה הדיונות הנודדות קולטות את מרב המים במערכת, ומצטרפים אליהן כלל הכתמים הפתוחים שמצויים בטיפוסי הדיונות השונים ובשקעים. בהיעדר דיונות נודדות, ובהינתן הימצאן של דיונות מיוצבות ושקעים עם כיסוי גבוה של צומח, נצפה שמשטר המים בקרקע יהיה גרוע, אלא אם כן יש מקורות מים נוספים מעבר לגשם בקרקע, שיכולים

להסביר את כיסוי הצומח הגבוה בדיונות המיוצבות ובשקעים.

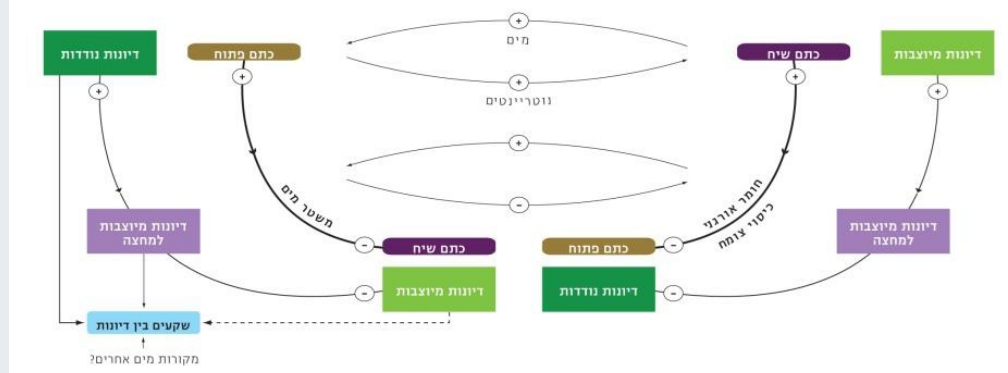
בהיעדר מקורות מים נוספים צריך הצמח להתבסס על הגשם ועל יכולת הקיבול של המים בקרקע. חופתו של צמח רב-שנתי בוגר, כדוגמת לענה חד-זרעית ששולטת בכל טיפוס הדיונות והשקעים, מגיעה בממוצע לקוטר של כ-1 מטר. בחישוב גס, זקוק צמח כזה לפחות לכ-1,000 ליטר מים בשנה, וזאת בהתבסס על שיעור הדיות והתאיידות (evapotranspiration) שמגיע ל-2.6 ליטר ליום ול-939 ליטר בשנה (70% מההתאיידות הפוטנציאלית הממוצעת לשנה ^[6]), שמחושבת בשיטת פנמן מונטיס, עבור אזור המחקר. נתוני ההתאיידות הפוטנציאלית התקבלו מהשירות המטאורולוגי. קיבול השדה בדיונות נע בין 10%-3. אם נתייחס לערך הגבוה ביותר של קיבול שדה, אזי כדי לקבל כ-1,000 ליטר מים לשנה, צריך צמח כמו לענה לשאוב את מימיו מנפח קרקע של כ-10 מ"ק ברדיוס של 50 ס"מ, קרי מעומק של 11 מטר (חישוב של גליל בנפח של 10 מ"ק ורדיוס של 50 ס"מ). שורשי הצמחים אינם מגיעים לעומקים הללו, ועיקר השורשים מתפרסים אופקית ולא אנכית בעומקים שבין 1-3 מטר ^[23, 31]. לכן, אם נביא בחשבון עומק שורשים של 3 מטר, אזי 1,000 ליטר מים יתקבלו מרדיוס של כ-1 מטר. קרי, המרחק משיח לשיח צריך להיות מטר אחד כדי שכל שיח יוכל להתקיים בנתונים הקיימים. ייתכן שבשקעים, שהמרחק בין השיחים בהם קטן בהרבה ממטר אחד, וכיסוי הצומח גבוה מזה שבדיונות המיוצבות, נהנים הצמחים מכמויות גדולות יותר של מים בגלל התשתית החרסיתית ששכבת החול נשענת עליה (איור 5), אך כמובן שנושא זה מצריך בדיקה יסודית.



איור 5. התשתית החרסיתית מתחת לשכבת החול, בשקע הסמוך לדיונה נודדת שנמצאת במרחק של כ-500 מטר מהים | צילום: פועה בר (קויתאל)

לסיכום: ההטרוגניות המרחבית והעתית בדיונות גבוהה, ומתבטאת בהסתכלות רחבה כמו גם בהסתכלות מקומית. הכתמים הפתוחים, ובעיקר הדיונות הנודדות, מהווים את המערכת העיקרית לקליטת מים, שקרוב לוודאי תומכת בצמחים (בהיעדר מקורות אחרים). מנגד, כתמי השיחים מהווים מערכת עיקרית לאספקת החומר האורגני על חומרי המזון השונים (איור 6). מכאן, שמערכת כוללת דו-כתמית חיונית לקיומה של מערכת הטרוגנית, שמתבטאת גם במגוון הביולוגי. ככל שהשטח הפתוח מצטמצם, רמת ההומוגניות המרחבית גדלה, כמו שמצאנו בשקעים שאספקת המים בהם נשענת ככל הנראה על התשתית ששכבת החול הרדודה נשענת עליה.

איור 6. יחסי הגומלין בין טיפוסים הדיונות השונים, בין הדיונות לשקעים ובין הכתם הפתוח לכתם השיח כפי שהם מתבטאים במשטר המים ובכמות החומר האורגני / הנוטריינטים הקווים ההיקפיים שמוליכים מדיונות נודדות לדיונות מיוצבות או לחילופין מכתם פתוח לכתם שיח, מצביעים על שינוי חד במשטר המים, מדיונות נודדות / כתם פתוח לכיוון דיונות מיוצבות / כתם שיח. לעומת זאת, השינוי בכיסוי הצומח ובחומר האורגני חד במעבר מדיונות מיוצבות / כתם שיח לדיונות נודדות / כתם פתוח. סימני הפלוס (+) והמינוס (-) מייצגים רמה גבוהה או נמוכה של משאב או מצביעים על קשר חיובי או שלילי, בהתאמה, כפי שמתבטא בקווים הפנימיים. הקווים השונים המובילים מהדיונות לשקעים מבטאים את כמות המים שהדיונה מספקת לשקע, שהולכת וקטנה ככל שהדיונה מתייצבת (קו מלא ועבה - הרבה מים, קו מלא ודק - פחות מים, קו מרוסק - מעט מים), ולכן כיסוי הצומח הגבוה בשקעים יכול להיות מוסבר על-ידי קיומם של מקורות מים נוספים.



איור 6

יחסי הגומלין בין טיפוסים הדיונות השונים, בין הדיונות לשקעים ובין הכתם הפתוח לכתם השיח כפי שהם מתבטאים במשטר המים ובכמות החומר האורגני / הנוטריינטים

הקווים ההיקפיים שמוליכים מדיונות נודדות לדיונות מיוצבות או לחילופין מכתם פתוח לכתם שיח, מצביעים על שינוי חד במשטר המים, מדיונות נודדות / כתם פתוח לכיוון דיונות מיוצבות / כתם שיח. לעומת זאת, השינוי בכיסוי הצומח ובחומר האורגני חד במעבר מדיונות מיוצבות / כתם שיח לדיונות נודדות / כתם פתוח. סימני הפלוס (+) והמינוס (-) מייצגים רמה גבוהה או נמוכה של משאב או מצביעים על קשר חיובי או שלילי, בהתאמה, כפי שמתבטא בקווים הפנימיים. הקווים השונים המובילים מהדיונות לשקעים מבטאים את כמות המים שהדיונה מספקת לשקע, שהולכת וקטנה ככל שהדיונה מתייצבת (קו מלא ועבה - הרבה מים, קו מלא ודק - פחות מים, קו מרוסק - מעט מים), ולכן כיסוי הצומח הגבוה בשקעים יכול להיות מוסבר על-ידי קיומם של מקורות מים נוספים.

מקורות

- אלמוג ר. 2009. משטר המים בחלקו העליון של החתך הבלתי-רווי בחולות אשדוד-ניצנים. תקצירים של הכנס "דיונות בישראל - מדיניות, ניהול, ממשק", 1 ביוני 2009; אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.
- בר פ. 2008. חול וכול וחול אין - מאפיינים ותהליכים בדיונות. *טבע הדברים* 149: 72-83.

3. דן י וקוטיאל פ. 1997. נוף וקרקע באזור פארק השרון. *אקולוגיה וסביבה* **4**: 87-94.
4. מזור ע. 1994. גיאולוגיה בפטיש ישראלי. תל-אביב: האוניברסיטה הפתוחה.
5. נוי י. 1967. שיעורים בתורת הקרקע. תל-אביב: הקיבוץ המאוחד.
6. Allen RG, Pereira LS, Raes D, and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
7. Alvarez-Rogel J, Carrasco L, Marín CM, and Martínez-Sánchez JJ. 2007. Soils of a dune coastal salt marsh system in relation to groundwater level, micro-topography and vegetation under a semiarid Mediterranean climate in SE Spain. *Catena* **69**: 111-121.
8. Ayyad MA. 1973. Vegetation and environment of the western Mediterranean coastal land of Egypt: I. The habitat of sand dunes. *Journal of Ecology* **61**: 509-523
9. Bar (Kutiel) P, Cohen O, and Shoshany M. 2004. Invasion rate of the alien species *Acacia saligna* within coastal sand dune habitats in Israel. *Israel Journal of Plant Science* **52**: 115-124
10. Berendse F, Lammerts EJ, and Olff H. 1998. Soil organic matter accumulation and its implications for nitrogen mineralization and plant species composition during succession in coastal dune slacks. *Plant Ecology* **137**: 71-78
11. Berndtsson R, Nodomi K, Yasuda H, Persson T, Chen H, and Jinno K. 1996. Soil water and temperature patterns in an arid desert dune sand. *Journal of Hydrology* **185**: 221-240.
12. Ensign KL, Webb EA, and Longstaffe FJ. 2006. Microenvironmental and seasonal variations in soil water content of the unsaturated zone of a sand dune system at Pinery Provincial Park, Ontario, Canada. *Geoderma* **136**: 788-802
13. Gardner R, and McLaren S. 1999. Infiltration and Moisture Movement in Coastal Sand Dunes, Studland, Dorset, UK: Preliminary Results. *Journal of Coastal Research* **15**: 936-949
14. Hodgson JM. 1978. Soil sampling and soil description. Monograph on soil survey. Oxford: Clarendon Press, Oxford University Press
15. Kutiel P. 1998. Annual vegetation of the coastal sand dunes of the northern Sharon, Israel. *Israel Journal of Plant Science* **46**: 287-298
16. Kutiel P. 2001. Conservation and management of the Mediterranean coastal sand dunes in Israel. *Journal of Coastal Conservation* **7**: 183-192
17. Kutiel P, Cohen O, Shoshany M, and Shub M. 2004. Vegetation establishment on the southern Israeli coastal sand dunes between the years 1965 and 1999. *Landscape and Urban Planning* **67**: 141-156
18. Kutiel P and Danin A. 1987. Annual-species diversity and aboveground phytomass in relation to some soil properties in the sand dunes of the northern Sharon Plains, Israel.

.Vegetation **70**: 45-49

Kutiel P, Danin A, and Orshan G. 1980. Vegetation of the sandy soils near Caesarea, Israel. I. Plant communities, environment and succession. *Israel Journal of Botany* **28**: 20-35 .19

Kutiel P, Eden E, and Zhevelev Y. 2000. Effect of experimental trampling and off-road motorcycle traffic on soil and vegetation of stabilized coastal dunes, Israel. *Environmental Conservation* **27**: 14-23 .20

Levin N, Kidron GJ, and Ben-Dor E. 2008. Surface properties of stabilizing coastal dunes: Combining spectral and field analyses. *Sedimentology* **54**: 771-788 .21

Li XR, Kong DS, Tan HJ, and Wang XP. 2007. Changes in soil and vegetation following stabilization of dunes in the southeastern fringe of the Tengger Desert, China. *Plant and Soil* **300**: 221-231 .22

Martinez F, Merino O, Martin A, Garcia Martin D, and Merino J. 1998. Belowground structure and production in a Mediterranean sand dune shrub community. *Plant and Soil* **201**: 209-216 .23

Perry M. 2008. Studying perennial plant impact on annual diversity in sand dunes in different spatial scales (M.Sc. dissertation). Beer-Sheva: Ben-Gurion University of the Negev .24

Ram A, and Aaron Y. 2007. Negative and positive effects of topsoil biological crusts on water availability along a rainfall gradient in a sandy arid area. *Catena* **70**: 437-442 .25

Ravi S, D'Odorico P, and Okin GS. 2007. Hydrologic and aeolian controls on vegetation patterns in arid landscapes. *Geophysical Research Letters* **34**: 24 .26

Tsoar H. 2005. Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A* **357**: 50-56 .27

Tsoar H, and Blumberg D. 2002. Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. *Earth Surface Processes and Landforms* **27**: 1147-1161 .28

Yair A, Lavee H, and Greitser N. 1997. Spatial and temporal variability of water percolation and movement in a system of longitudinal dunes, western Negev, Israel. *Hydrological Processes* **11**: 43-58 .29

Yizhaq H, Ashkenazy Y, and Tsoar H. 2007. Why do active and stabilized dunes coexist under the same climatic conditions? *Physical Review Letters* **98**: 188001 .30

Zhenghu D, Honglang X, Xinrong L, Zhibao D, and Gang W. 2004. Evolution of soil properties on stabilized sands in the Tengger Desert, China. *Geomorphology* **59**: 237-246 .31

Zuo X, Zhao X, Zhao H, Zhang T, Guo Y, Li Y, and Huang Y. 2009. Spatial heterogeneity of soil properties and vegetation-soil relationships following vegetation restoration of mobile dunes in Horqin Sandy Land, Northern China. *Plant and Soil* **318**: 153-167 .32

