



הדגמת עקרונות אקו-הידרולוגיים על מדבר צחיח קיצון בתחנת רמון למחקר אקולוגי ארוך טווח

אלי גרונר * | נעמי ברדה סוידרסקי | נעם גנץ | אריאל מרוז | מאור טיקוצ'ינסקי
יפתח דבש | דיאנה סופיה גליאנו | צביה אפרתי | אבשלום באב"ד

מו"פ מדבר ים המלח, שלוחת רמון, משרד המדע, הטכנולוגיה והחדשנות
elli@adssc.org *

תקציר

כיסוי הצומח בעזרת רחפן הראו כמצופה, שיש קשר חיובי בין גודל הערוצים באגן לבין כיסוי הצומח באפיק. כלומר במורד אגן הניקוז ובאגני ניקוז גדולים צפוי להתקבל כיסוי צומח גבוה יותר. המגוון הביולוגי בתחנת LTER רמון מושפע רבות מנישות הידרולוגיות הנקבעות על פי זמינות המים.

תחנת המחקר האקולוגי ארוך הטווח (LTER) רמון נמצאת על הגבול בין אזור אקלים צחיח לאזור אקלים צחיח קיצון במכתש רמון. בתחנה חוקרים בעיקר את הקשר בין טופוגרפיה, זמינות מים ותהליכים אקולוגיים. התחנה אימצה את הפרוטוקולים האירופיים לניטור ארוך טווח, ומשמשת תחנת דוגמה לחקר המדבר עם דגש על הידרולוגיה. רוב המחקר מתקיים כיום באגן ניקוז נחל גוונים. במאמר נציג את העקרונות האקו-הידרולוגיים המבדילים בין מדבר באקלים צחיח למדבר באקלים צחיח קיצון, ונדגים אותם מתוך ממצאים של שלוש שנות ניטור באגן הניקוז של נחל גוונים. הממצאים מראים שמתקיים קשר לא ליניארי בין כמות המשקעים באירועי גשם לבין התפתחות נגר ותכולת המים בתת-הקרקע. המשך הניטור יסייע בהבנת המרכיבים של המערכת האקולוגית המקיימת נגר ומעשירה את מאגרי המים בתת-הקרקע של בסיס האפיק. נוסף על כך, מדידות

מילות מפתח

ביומסה, מקור-מבלע, סדרי ערוצים, פעימה-עתודה, רטיבות קרקע

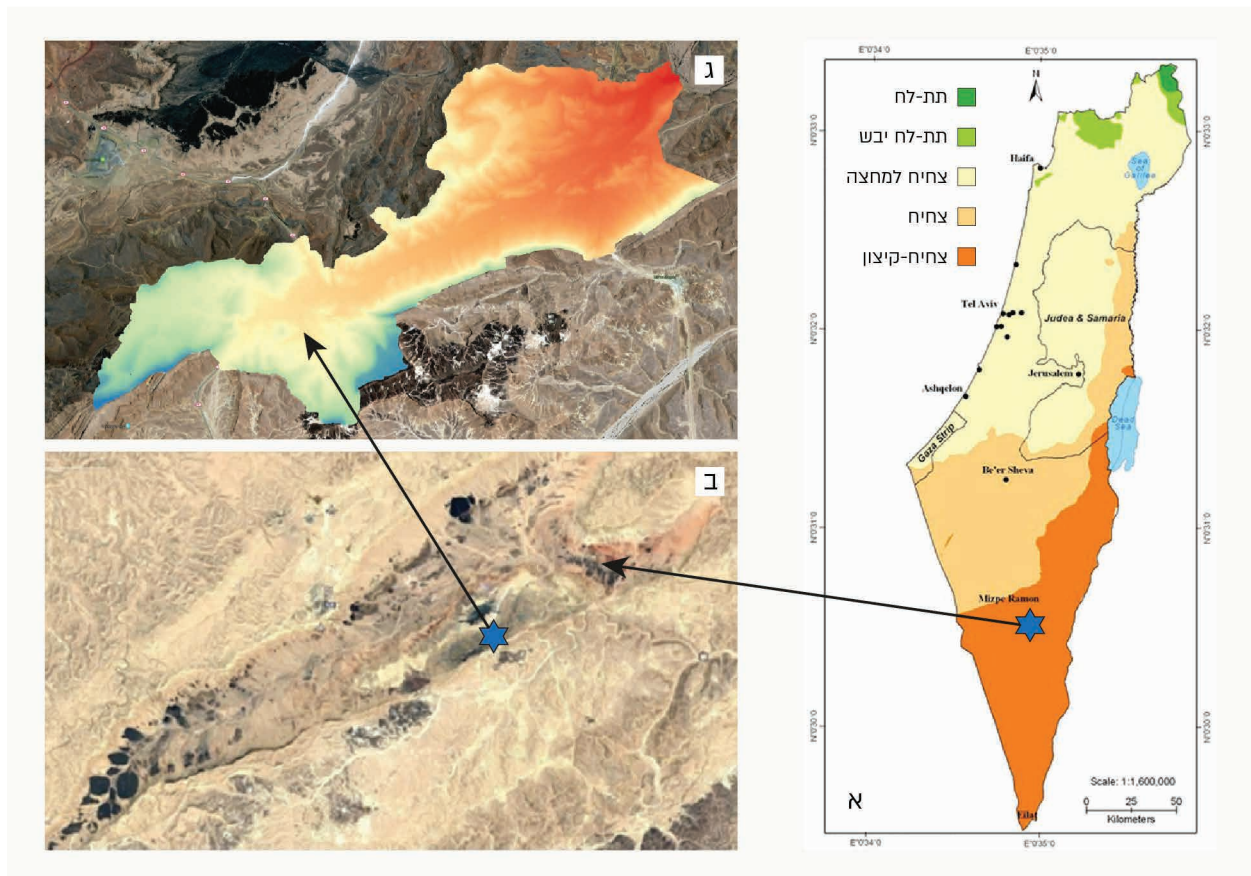
רקע

הים, ואילו השוליים הדרומיים הם כ-500 מטר מעל פני הים. הטמפרטורה הממוצעת ביולי היא 34 מעלות צלזיוס, ובינואר 12.5 מעלות. כמות המשקעים הממוצעת שנרשמה בעבר היא 56 מ"מ לשנה באזור הצפון-מזרחי הנמוך (Krasnov and Ayal, 1995) ו-100 מ"מ לשנה באזור הדרום-מערבי הגבוה (Krasnov and Shenbrot, 1998). מכתש רמון הוא מכתש סחיפתי שנוצר בעקבות תהליכים גאומורפולוגיים שפעלו על הרכסים במרכז הנגב ובצפון הנגב (Avni and Zilberman, 2006). המכתש חושף סלעים מגיל הטריאס ועד בסיס הקרטיקון העליון (מ-250 מיליון שנה ועד 66 מיליון שנה) (Finzi et al., 2019). המגוון הליתולוגי רחב, וכולל מצוקים גירניים וסלעי דולמיט קשים, אבני חול רכות, מחדרים מגמטיים, הרי געש ודיונות חול (Krasnov and Shenbrot, 1998).

עם היעלמות המכרות שהתבססו על מחצבי המכתש, ופיתוח התיירות בשמורת הטבע המתהווה, נעשו ניסיונות לשיקום נופי במכרות (להבדיל משיקום אקולוגי) בעזרת

במשך שנים רבות נערך ניטור ארוך טווח ברחבי מכתש רמון. בשנים האחרונות הניטור והמחקר מתמקדים באגן ניקוז נחל גוונים, דרומית ליישוב מצפה רמון. מבחינת האקלים נחל גוונים מתפקד כאקוטון (אזור מעבר) בין אזור אקלים צחיח (arid) מדרום ומזרח, לאזור אקלים הצחיח קיצון (hyper arid) מצפון ומערב (איור 1). אזורי מעבר הם הראשונים להשתנות עקב שינוי אקלים. תחנת LTER רמון הוקמה בשנות ה-90 כתחנת מחקר של מרכז מדע רמון (מו"פ של משרד המדע בחסות אוניברסיטת בן-גוריון בנגב). מטרתה הייתה לחקור את השפעות שינוי האקלים הקשורות להתייבשות ולהתחממות החזויה (Martinez-Valderrama et al., 2020) על מערכות אקולוגיות באזור זה.

שטח מכתש רמון הוא 240 קמ"ר (Krasnov and Shenbrot, 1998). השוליים הצפוניים של המכתש, קרי קירות המכתש, הם בגובה של 800–1,200 מטר מעל פני



איור 1

אתר המחקר

(א) מפה של מדד הצחיחות של ישראל ומיקום מכתש רמון בקצה הלח של האזור הצחיח קיצון (כתום); (ב) תצלום אוויר של מכתש רמון ומיקומו של אגן ניקוז נחל גוונים; (ג) מפת רום של אגן ניקוז נחל גוונים.

ושטח המחקר הצטמצם לאגן ניקוז אחד שגודלו כ-5.85 קמ"ר. נחל גוונים ממוקם בדרום המכתש, והקיר הדרומי של המכתש מהווה את אחת מדפנות אגן הניקוז של הנחל. אגן הנחל מתאפיין במגוון גאולוגי (geodiversity). יש בו סלעים מגמטיים ויוריניים ואבני חול מגיל הטריאס ועד הקרטיקון, ובסיס הערוץ מורכב מאלוביום (Finzi et al., 2019).

תחנת LTER רמון היא חלק משמורת טבע, ורוב המחקרים נעשים בשיתוף עם רשות הטבע והגנים. בשנים האחרונות המחקר מתמקד בקשר בין ההידרולוגיה לאקולוגיה באזור של אקלים צחיח קיצוני. שטחו המוגבל של אגן הניקוז של נחל גוונים מאפשר פריסה רחבה של מכשירי ניטור הידרולוגיים שמייצגים את השונות המרחבית של כלל האגן. נוסף על כך, בשל המבנה הגאולוגי במורד הנחל נוצר 'צוואר בקבוק' של זרימת המים, המאפשר כימות של כל המים היוצאים מהאגן ונשפכים לנחל רמון.

אקו-הידרולוגיה של מדבר צחיח קיצוני

זמינות המים היא הגורם המגביל יצרנות במערכות אקולוגיות. את זמינות המים ניתן לחשב בעזרת מדד הצחיחות (aridity index) ככמות משקעים שנתית חלקי אידיו פוטנציאלי. מדבר צחיח קיצוני מוגדר כאזור שבו מדד הצחיחות קטן מ-5% (Safriel et al., 2006). מדד הצחיחות מעיד על זמינות המים, מכיוון שנוסחתו כוללת את המים הנכנסים למערכת (משקעים) ואת המים שיוצאים מהמערכת בגלל חום (אידיו ודיות פוטנציאליים). ככל שרמת המשקעים נמוכה יותר והטמפרטורות גבוהות יותר, יש פחות מים זמינים למערכת האקולוגית. בישראל ככל שיורדים דרומה (ומזרחה מההרים), הטמפרטורה עולה, והמשקעים פוחתים, ולכן מדד הצחיחות יורד בתלילות. למשל, בעוד שמצפה רמון, שיורדים בה כ-80 מ"מ גשם בשנה, מצויה באזור הצחיח, מכתש רמון שנמצא כ-2 ק"מ דרומית לה, שוכן באזור צחיח קיצוני עם כ-55 מ"מ גשמים בשנה. השינוי נובע מהירידה בטופוגרפיה שגורמת לירידה בכמות המשקעים ולעלייה בטמפרטורה. בשל כך, ישנה חשיבות להבנת המערכת ההידרולוגית והשפעתה על הצמחייה שמארג המזון מתבסס עליה. בנגב עונת הגשמים מתחילה באוקטובר ונמשכת עד אפריל או מאי. אחד המאפיינים של משטר המשקעים באזורים מדבריים וכן במכתש רמון, הוא שונות גבוהה בכמות המשקעים השנתית ובעיתוי ירידתם. לאחרונה ישנם דיווחים שאזורי מדבריות באקלים צחיח קיצוני מתרחבים בעולם (Martinez-Valderrama et al., 2020). במדבר באקלים הצחיח קיצוני, שלא כמו במדבר באקלים הצחיח, ולמעט שנים יוצאות דופן, צמחים וסקולאריים (צמחים בעלי נצר ושורש, שיש להם מערכות

פיזור אבנים כך שהנוף ידמה למצבו הטבעי, ופותרו דרכים חדשות (דרורי ובר [קוטיאל], 2012). במחקר שנערך על הדרכים שנפתחו לרכבים בתוך המכתש, נמצא כי הן שינו את זרימת המים וכן את הגודל והרכב של מיני הצמחייה ושל בעלי החיים הקרקעיים (Cohen et al., 2021).

מחקרי עבר בתחנת LTER רמון כללו השוואה של בתי הגידול שונים בתוך המכתש, ובכלל זה דיונות חול, אלוביום (תוצרי סחף שמקורם באגן), צוקים ועוד. נחקרו בעיקר צמחים (Ward and Olsvig-Whittaker, 1993; Ward et al., 2000; Schmidt and Karnieli, 2001; Ruiz et al., 2006; Krasnov and Shenbrot, 1996; Krasnov et al., 1996), זוחלים (Shenbrot and Krasnov, 1997) ויונקים (Khokhlova et al., 1994; Krasnov et al., 1996; Krasnov et al., 1997; Saltz et al., 1999; Ward et al., 1999; Saltz et al., 2000; Saltz et al., 2006).

המחקרים שנערכו בין 1990 ל-2006 בכל בתי הגידול במכתש כללו גם ניטור ארוך טווח של מרכסמים ביחידות נוף שונות בתוך המכתש, ונמצאו בהם 13 מינים של מרכסמים. מין אחד נמצא בבית גידול חולי (גרביל דרומי [*Gerbillus Sekeetamys*] (יפה זנב [*gerbillus calurus*]), שני מינים בקרקעות לס (עכבר מצוי [*musculus Eliomys melanurus*]), ומנמן סלעים מצוי [*Jaculus jaculus*]) מעדיף כבית גידול את משטחי הרג-חמדה העניים בשיחים. שאר המינים לא היו ספציפיים לבית גידול מסוים. כמו כן, נמצא כי צפיפות האוכלוסיות של המינים השונים בקיץ תלויה בעיקר בכמות הגשמים בחורף, למעט בית הגידול החולי, שם הצפיפות תלויה בעיקר בכמות הגשם בשנה הקודמת (Shenbrot et al., 2010), הגשם קובע את זמינות המזון עבור המרכסמים (Brown and Ernest, 2002). מחקר שנערך באותה תקופה ועסק בצמחייה במכתש הראה שכמות הגשם היא הגורם החשוב ביותר המשפיע עליה, ואילו לעוצמת רעיית הצבאים והפראים יש השפעה מעטה על הצמחייה (Ward et al., 2000). צפיפות מרכסמים בוואדיות לא הושפעה מבצורות או משנים שחונות. לעומת זאת, נראה כי צפיפות המרכסמים בבתי הגידול השונים הראתה מגמות דומות, והיה סנכרון בתנודות העיתיות, כך שאוכלוסיות מינים שונים עולות ויורדות בסנכרון.

התמקדות בנחל גוונים ב-LTER רמון

תחנות מחקר בישראל (כולל תחנות eLTER) משתרעות לרוב על פני שטח של 5 קמ"ר (גרונר ושחק, 2011). החל משנת 2018 בחרנו למקד את המחקר האקולוגי בבתי הגידול באזורי מעבר בנחל גוונים. שטח המכתש הוא 240 קמ"ר,

שיטפונות בנחל גוונים

חלקו העיקרי של נחל גוונים זורם במבנה של 'דגם פזרות', כלומר הנחל מורכב ממספר ערוצי זרימה פעילה שמשתנה משיטפון לשיטפון בשל סחף קרקע. המערכת הזו דינמית, וערוצי הזרימה משנים את מיקומם לכל רוחב הערוץ. מהבחינה הטכנית דגם פזרות הוא אתגר למדידה הידרולוגית, מאחר שהזרימה מתפצלת למספר ערוצים בעלי זרימה רדודה יחסית, ולעיתים מיקום הזרימה עצמה משתנה בין שנים או בין שיטפונות. במורד נחל גוונים, סמוך למקום שהוא נשפך לנחל רמון, קיימת תשתית סלעית הקרובה לפני השטח ויוצרת ערוץ זרימה יחיד המאפשר מדידה הידרולוגית יעילה. בנקודה זו הקמנו מערכת ניטור שמאפשרת מדידה של רום השיטפון ויצירת הידרוגרף (גרף של גובה המים לאורך זמן) של השיטפון. בשלוש שנות הניטור נרשמו ארבעה אירועי שיטפון, שלהידרוגרפים שלהם צורה מיוחדת, אך אופייים לא יידון במסגרת מאמר זה. בתחילת שנת 2022 התרחשו שני שיטפונות, גדול וקטן, במהלך שלושה ימים (איור 2).

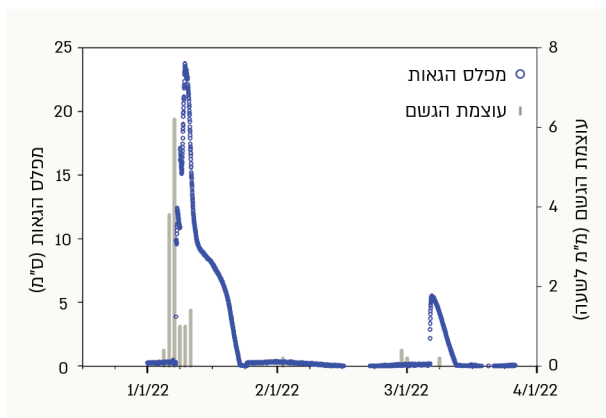
השפעת זמינות המים על הצמחייה

חברת הצומח בנחל גוונים כוללת מינים אירנו-טוראניים (כגון חמד המדבר [*Haloxylon scoparia*] ולענת המדבר [*Artemisia sieberi*] וסהרו-ערביים (כגון חמד השיח [*Haloxylon salicornicum*], יפרוק המדבר [*Fagonia arabica*] וכגוניה ערבית (Ward and Olsvieg-Whitaker, 1993). כמו בכל האזור הצחיח קיצון הביומסה הצמחית מרוכזת בערוצים, ותלויה בזרימה

הובלה) גדלים רק בוואדיות, ותלויים בנגר במנגנון של מקור-מבלע (source-sink). באזורי אקלים צחיחים הצמחייה נמצאת בכתמי המבלע (sink) בין הכתמים תורמי המים (source), שהם אזורי סלעים וקרום קרקע ביולוגי. השיחים גדלים בכתמי המבלע, שהם כתמי קרקע על הסלעים ועל קרומי הקרקע כמעט לא גדלים שיחים, וכך נוצר פסיפס של שלושה סוגי כתמים, שניים תורמים מים ואחד הוא מבלע, ועליו גדלים השיחים (Shachak et al., 1998, 2008; Merino-Martin et al., 2012). באזור הצחיח כמות המשקעים השנתית יוצרת מאזן מים המספיק לקיום שיחים בכל מקום (כולל פסגות הרים, מדרונות ומישורים). לעומת זאת, במדבר צחיח קיצון מאזן המים השנתי אינו מספיק לקיום שיחים. לכן, השיחים יכולים להתקיים רק במקומות שיש בהם מקור מים נוסף. לרוב המקומות האלה הם הוואדיות שנמצאים בתחתית אגן הניקוז ומקבלים מים מכל המדרונות. המדרונות נקראים במקרה זה "מקור", והוואדיות נקראים "מבלע". רק כשמתקיים מנגנון "מקור-מבלע" יכולה להתקיים צמחייה באזור של אקלים צחיח קיצון, והדינמיקה נעשית בקנה מידה של אגן הניקוז כולו.

כיוון שרוב הגשמים אינם מייצרים נגר, רק גשמים מעל עוצמה מסוימת משפיעים על היצרנות באגן הניקוז של המדבר באקלים צחיח קיצון (Chen et al., 2019). הגשמים המעטים מוסיפים רטיבות מסוימת לשכבות הקרקע העליונות. בחלקו הגדול של אגן הניקוז לחלוטית הקרקע משפיעה רק על אצות כחוליות, שעושות פוטוסינתזה.

מכיוון שרוב תכונות המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית באקלים צחיח קיצון תלויות בזמינות מים, פיזור המים בזמן ובמרחב (כולל בעומק הקרקע) הוא הגורם החשוב ביותר. זמינות המים משתנה באגן הניקוז: האזורים הגבוהים גאוגרפית מקבלים רק גשם, בעוד שערוצים קטנים מקבלים גם נגר מהאזור התורם סביבם, ועל כן נקראים ערוצים מסדר ראשון (ליפקין, 1971). כשערוצים מסדר ראשון מתמזגים, נוצר ערוץ מסדר שני וכך הלאה, עד לערוצים המרכזיים שהם ערוצים מסדר גבוה (מעל 4). לכל ערוץ מסדר מסוים יש זמינות מים שונה בהתאם לגודל השטח שתורם לו מים, והדבר יוצר הטרונגיות גבוהה בזמינות המים ובסוגי הנישות ההידרולוגיות (Groner et al., 2023). בנישות שונות באגן הניקוז של מדבר צחיח קיצון יש מגוון ביולוגי שונה. למשל, עצים גדלים רק בערוצים מסדר רביעי ומעלה, ואילו שיחים גדלים בערוצים מסדר גודל שני ומעלה. חד-שנתיים יכולים להופיע בערוצים מסדר גודל ראשון, ובשנים גשומות מאוד גם במדרונות. מכאן נובעת החשיבות הגדולה של ניטור וכימות השיטפונות, שהם מקור המים המרכזי למערכת האקולוגית באזור הצחיח קיצון.



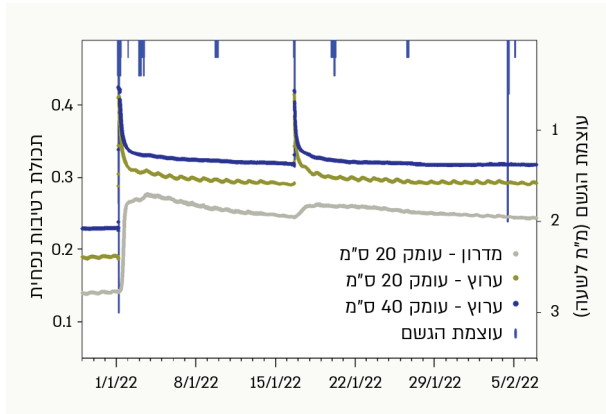
איור 2

הידרוגרף עבור מורד נחל גוונים

הנקודות הכחולות הן רום הגאות, והעמודות האפורות הן עוצמת הגשם. עוצמת גשם נמוכה יוצרת גאות (בתאריך 3.1.22) יומיים לאחר שיטפון גדול.

חלחול המים לעומק הקרקע (איור 3). שימו לב כי בתאריך 5.2.22 לא נמדדה עלייה בתכולת הרטיבות, כלומר לא נצפה תהליך של חלחול מים לקרקע, על אף עוצמת הגשם הגבוהה.

באיור 4 ניתן לראות את סדרי הערוצים 1–5 של נחל גוונים, וכיצד הצמחייה משתנה לפי סדרי הערוצים. במדרונות (ג ו-ד) המשמשים מקור, והנגר זורם מהם למטה, אין צמחייה



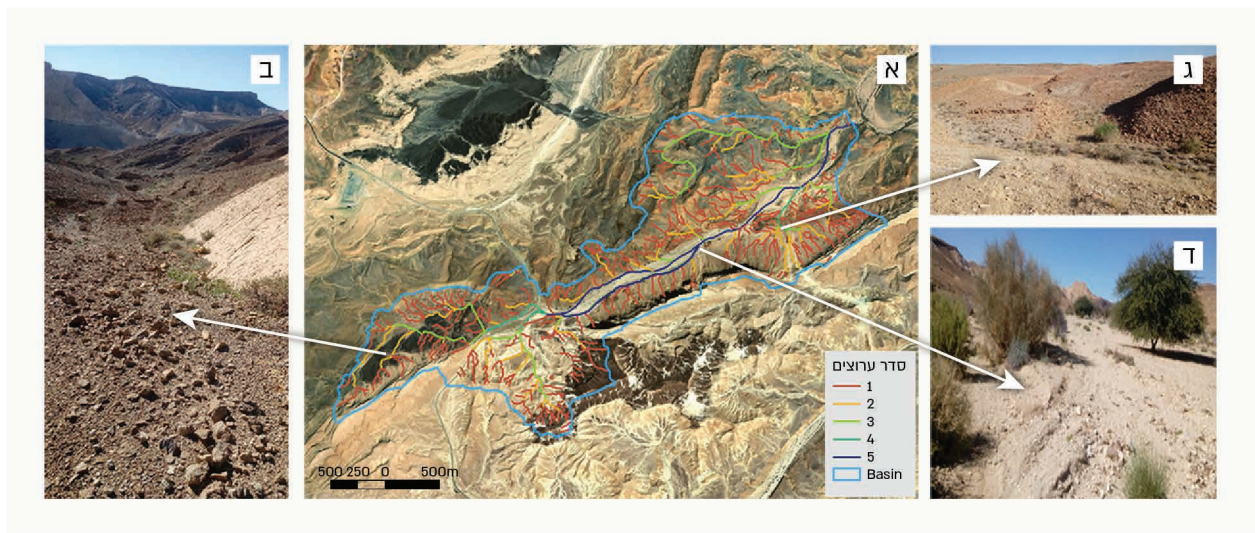
איור 3

תכולת הרטיבות הנפחית ועוצמת הגשם במדרון ובערוץ מסדר גודל שלישי בעומקים שונים

תכולת רטיבות נפחית בעומקים שונים מסומנת באפור (במדרון בעומק 20 ס"מ), בירוק (בערוץ בעומק 20 ס"מ) ובכחול כהה (בערוץ בעומק 40 ס"מ). באירוע ירדו 34 מ"מ גשם, המופיע בעמודות בכחול בהיר.

שיטפונת (Zohary, 1962) ובפעימה-עתודה (pulse-reserve), כלומר באירועי הגשם והנגר שמהווים פעימות של מים ובתת-הקרקע שמשמרת אותם כעתודה (Collins et al., 2014). במחקר זה בחנו את המבנה והתפקוד של מערכת אקולוגית ובתוכה את המגוון הביולוגי והיצרנות הראשונית ביחס לזמינות המים. זמינות זו באה לידי ביטוי בסדר הגודל של הערוצים. במדרונות אין כמעט אפשרות ליצירת מבלע, בערוצים מסדרים נמוכים (1–2) יש מבלע קטן של אזור תורם קטן ועתודה קטנה מאוד בגלל עומק קרקע רדוד מאוד. מאחר שאין בערוצים שיחים, יש יותר סחיפת קרקע, ונותרת כמות קרקע מצומצמת, וכך נוצר היזון חוזר חיובי שבו היעדר שיחים מקטין את כמות הקרקע, וכמות הקרקע הקטנה אינה מאפשרת גדילה של שיחים וחוזר חלילה. לעומת זאת, בערוץ המרכזי (בגוונים מסדר 5) יש מקור של אזור תורם גדול, קרקע (אלוביום) עמוקה, ולכן גם מבלע ועתודה גדולה של מים.

לשם הבנת השפעת ההידרולוגיה על המערכת האקולוגית יש צורך בהתבוננות בחוליה המקשרת בין המערכות. חוליה זו היא כמות המים בקרקע שזמינה לשימוש הצומח. באמצעות מדידת תכולת הרטיבות בקרקע וכימות התכונות הפיזיות של הקרקע ניתן להעריך את כמות המים הזמינה לצמחייה. תכולת הרטיבות הנפחית היא מדד יחסי של נפח המים מתוך כלל נפח הקרקע. יחס זה נמדד באמצעות מכשירי TDR (מדידת רטיבות קרקע בעזרת מוליכות חשמלית), שטמונים בקרקע בעומקים שונים ומאפשרים ניטור רציף של תכולת הרטיבות בקרקע. ניטור זה מאפשר להבין את היחס הישיר בין אירועי השיטפונות לתהליכי



איור 4

ערוצים באגן ניקוז נחל גוונים (א) סדרי ערוצים של אגן ניקוז נחל גוונים, והדגמה של ערוצים מסדר ראשון (ב) ערוץ שלישי (ג) וערוץ מסדר חמישי (ד).

מדבר צחיח קיצון, ומעורבת בפריקט אירופי eLTER PLUS (במסגרת 2020H) בקביעת תצפיות סטנדרטיות. המשתנים הנמדדים כוללים מדדים של זמינות מים, ובכלל זה תכונות קרקע, רטיבות קרקע (בעזרת TDR רושם כל השנה), ספיקה של שיטפונות, תדירות גשם ושיטפונות. כמו כן, נבחנו משתנים של מגוון ביולוגי ויצרנות, ובכלל זה חרקים מעופפים (בעזרת מלכודות מלייז), פרוקי רגלים על פני השטח (בעזרת מלכודות נפילה יבשות) ופרוקי רגליים בתוך הקרקע (בעזרת משפכי ברליז). נוסף על כך, אנו דוגמים משתנים שמצביעים על בריאות עצי השיטה (למשל עלווה, מדד שטח עלה [Leaf Area Index] והחזרה של קרינה אינפרה-אדומה), ומשתנים שמצביעים על יעילות ניצול המים (יצרנות ראשונית/זמינות מים), ובונים מערכת ניטור לשלמות אקולוגית (ecological integrity) לפי התקן שנקבע ל-eLTER (Firbank et al., 2017). כיוון שהמדידות האלה החלו בשנת 2021, עדיין אין בידינו נתונים. ניטור מכרסמים שנערך במשך 20 שנה, הופסק. אנו שוקלים להוסיף ניטור של ציפורים.

חלק מהמשתנים האלה נמדדים במסגרת הרשת העולמית Life-plan (Lifeplan, 2021). ברשת מנטרים מספר פרמטרים לפי פרוטוקולים אחידים, והניטור נעשה באמצעות מצלמות, מקלטי קול, דגימת נבגים באוויר וחרקים מעופפים. נחל גוונים הוא האתר היחיד בישראל שהוא חלק מהרשת הזאת.

סיכום

כדי לקדם את התחנה יש לנטר את המשתנים הנדרשים על ידי הרשת האירופית עבור מדבריות. כמו כן, יש להתמקד בתהליכים הבאים (על פי Groner et al., 2023): הפיכת גשם לנגר, פיזור מרחבי של הנגר בערוצים הקטנים, הפיכת הנגר (פעילה) לרטיבות קרקע בעומקים שונים לאורך השנה (עתודה), הפיכת רטיבות הקרקע ליצרנות ראשונית, הפיכת ביומסה צמחית לנשר, הקשר בין זמינות נשר למגוון ביולוגי בתוך הקרקע והשפעת המגוון הביולוגי בקרקע על היצרנות הראשונית.

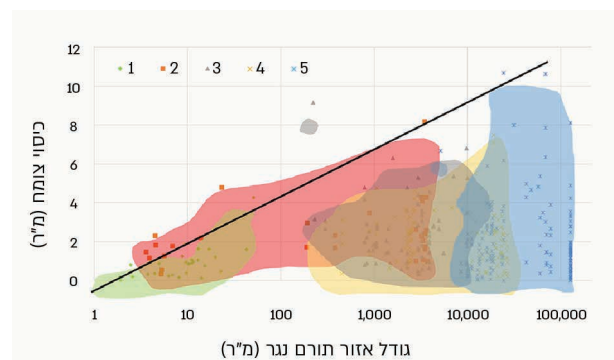
תודות

לקרן לשטחים פתוחים, לקרן ISF, למשרד המדע ולרשויות הניקוז ים המלח והערבה על מימון המחקר בתחנת המחקר. לזהבה סיגל ולאסף צוער ולפקחים רבים מרשות הטבע והגנים על שיתוף פעולה. לשילי דור-חיים, לנעה אבריאל-אבני, למשה שחק ולאיתמר גלעדי על עזרה במחקר.

בעלת מערכת הובלה (וסקולרית), ויש רק מעט אצות כחוליות. בערוצים מסדר נמוך (1-3) יש צמחייה של שיחים קטנים וחד-שנתיים. בערוץ המרכזי (5) המהווה מבלע גדול בעל עתודה של מים גם בקיץ, גדלים עצי שיטה גדולים משני מינים: שיטה סילנית (*Acacia raddiana*) ושיטת הנגב (*Acacia pachyceras*) (הסוג שיטה פוצל לאחרונה ורוב השיטים הישראליות, כולל שני המינים האלה, שייכות לסוג *Vachellia*). צילומי רחפן משמשים אותנו למיפוי הצמחייה המעוצה לפי סדרי ערוצים השונים. בהמשך מתבצע אימות בשטח עצמו וזיהוי המינים בשטח. בשלב הבא אנו מחשבים את שטח הכיסוי של כל שיח לפי מין ביחס לסדר ערוץ. עבור כל שיח אנחנו מחשבים את גודל אגן הניקוז התורם מים לנקודה שהוא צומח בה. מתקבל איור של כיסוי צומח לכל חלקה ביחס לגודל האזור תורם הנגר (איור 5), וכל סדר ערוץ מסומן בו בצבע שונה. מאיור זה ניתן לראות שאין ערוצים מסדר נמוך (1-2) שגודל האזור התורם בהם נמוך ושיש בהם כיסוי צומח גבוה (איור 5). הערוצים הגדולים (כחול) מקבלים תרומה של אזור תורם נגר גדול מאוד, וכיסוי הצומח יכול להיות גבוה או נמוך. לעומת זאת, הערוצים הקטנים מקבלים מעט מים בגלל אזור תורם קטן, ועל כן כיסוי הצומח בהם קטן.

חיבור תחנת רמון לרשת האירופית וחזון עתידי

תחנת LTER רמון נשענת על מסורת של ניטור מגוון ביולוגי מאז 1992, ושואפת ליישר קו עם הרשת האירופית בתצפיות סטנדרטיות (Standard Observations). המטרה היא שתחנת רמון תהיה תחנה שמתמחה באקו-הידרולוגיה, כלומר שמתמקדת במשתנים הקשורים לזמינות מים. תחנת רמון היא אחת מתחנות LTER המובילות בנושא



איור 5

היחס בין סדרי הערוצים, גודל האזור תורם הנגר וכיסוי הצומח סדרי הערוצים מסומנים בצבעים שונים: 1. ירוק, 2. ורוד, 3. אפור, 4. צהוב, 5. כחול.

- Martinez-Valderrama F, Guirado E, and Maestre FT. 2020. Desertifying deserts. *Nature Sustainability*, 3, 572–575.
- Merino-Martín L, Breshears DD, Moreno-de las Heras M, Villegas JC, Pérez-Domingo S, Espigares T, et al. 2012. Ecohydrological source-sink interrelationships between vegetation patches and soil hydrological properties along a disturbance gradient reveal a restoration threshold. *Restoration Ecology*, 20(3), 360–368.
- Ruiz N, Saltz D, and Ward D. 2006. Signal selection in a desert lily, *Pancreatium sickenbergeri*. *Evolutionary Ecology Research*, 8(8), 1461–1474.
- Safriel U, Ezcurra E, Tegen I, Schlesinger WH, Nellemann C, Batjes NH, et al. 2006. Deserts and the Planet. Chap. 3 In: Ezcurra E (Ed). *Global Deserts Outlook*. UN Environmental Program.
- Saltz D, Rubenstein DI, and White GC. 2006. The impact of increased environmental stochasticity due to climate change on the dynamics of asiatic wild ass. *Conservation Biology*, 20(5), 1402–1409.
- Saltz D, Schmidt H, Rowen M, Karnieli A, Ward D, and Schmidt I. 1999. Assessing grazing impacts by remote sensing in hyper-arid environments. *Journal of Range Management*, 52(5), 500–507.
- Saltz D, Rowen M, and Rubenstein DI. 2000. The effect of space-use patterns of reintroduced Asiatic wild ass on effective population size. *Conservation Biology*, 14(6), 1852–1861.
- Schmidt H and Karnieli A. 2001. Sensitivity of vegetation indices to substrate brightness in hyper-arid environment: the Makhtesh Ramon Crater (Israel) case study. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3503–3520.
- Shachak M, Boeken B, Groner E, Kadmon R, Lubin Y, Meron E, et al. 2008. Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *Bioscience*, 58(3), 209–221.
- Shachak M, Sachs M, and Moshe I. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475–483.
- Shenbrot G and Krasnov B. 1997. Habitat relationships of the lizard fauna in the Ramon erosion cirque, Negev Highlands (Israel). *Journal of Zoology*, 241, 429–440.
- Shenbrot G, Krasnov B, and Burdelov S. 2010. Long-term study of population dynamics and habitat selection of rodents in the Negev Desert. *Journal of Mammalogy*, 91(4), 776–786.
- Ward D and Olsvig-Whittaker L. 1993. Plant species diversity at the junction of two desert biogeographic zones. *Biodiversity Letters*, 1(6), 172–185.
- Ward D, Olsvig-Whittaker L, and Lawes M. 1993. Vegetation-environment relationships in a Negev Desert erosion cirque. *Journal of Vegetation Science*, 4(1), 83–94.
- Ward D, Saltz D, Rowen M, and Schmidt I. 1999. Effects of grazing by re-introduced *Equus hemionus* on the vegetation in a Negev desert erosion cirque. *Journal of Vegetation Science*, 10(4), 579–586.
- Ward D, Saltz D, and Olsvig-Whittaker L. 2000. Distinguishing signal from noise: Long-term studies of vegetation in Makhtesh Ramon erosion cirque, Negev desert, Israel. *Plant Ecology*, 150(1–2), 27–36.
- Zohary M. 1962. *Plant Life of Palestine, Jordan and Israel*. Jerusalem: The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, Israel.
- גורנר א ושחק מ. 2021. LTER ההיסטוריה של הקמת הרשת בעולם ובארץ ומצב הרשת. שדה בוקר: הוצאת המארג.
- דרורי ב ובר-קוטיאל פ. 2012. שחזור המערכת האקולוגית במחצבות הכרייה הנטושות במכתש רמון באמצעות גישה אקו-גאומורפולוגית. **אקולוגיה וסביבה**, 13(1), 8–10.
- ליפקין י. 1971. **הצמחייה של דרום הנגב** (עבודה לקבלת תואר דוקטור). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- Avni Y and Zilberman E. 2006. Landscape evolution triggered by neotectonics in the Sede Zin region, central Negev, Israel. *Israel Journal of Earth Sciences*, 55, 189–208.
- Brown JH and Ernest SKM. 2002. Rain and rodents: Complex dynamics of desert consumers. *BioScience*, 52, 979–987.
- Cohen S, Groner E, Peters A, and Segoli M. 2021. The impact of roads on the redistribution of plants and associated arthropods in a hyper-arid ecosystem. *Journal of Insect Science*, 21(4), 1–10.
- Collins SL, Belnap J, Grimm N, Rudgers JA, Clifford N, and Dahm P. 2014. A multiscale, hierarchical model of pulse dynamics in arid-land ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 397–419.
- Finzi Y, Avni S, Maroz A, Avriël-Avni N, Ashckenazi-Polivoda S, and Ryvkin I. 2019. Extraordinary geodiversity and geoheritage value of erosional craters of the Negev craterland. *Geoheritage*, 11(3), 875–896.
- Firbank LG, Bertora C, Blankman D, Delle Vedove G, Frenzel M, Grignani C, et al. 2017. Towards the co-ordination of terrestrial ecosystem protocols across European research infrastructures. *Ecology and Evolution*, 7, 3967–3975.
- Groner E, Babad A, Berda N, and Shachak M. 2023. Towards an extreme world: the hyper-arid ecosystem as a natural model. *Ecosphere*, 14(6), e4586.
- Khokhlova IS, Krasnov B, Shenbrot GI, and Degen A. 1994. Factors determining the pattern of seasonal-changes of body-weight in some rodents in the erosive crater Ramon (Upland Negev, Israel). *Zoologicheskyy Zhurnal*, 73(11), 106–114.
- Krasnov B, Shenbrot GI, Medvedev SG, Vatschenok VS, and Khokhlova IS. 1997. Host-habitat relations as an important determinant of spatial distribution of flea assemblages (Siphonaptera) on rodents in the Negev. *Parasitology*, 114, 159–173.
- Krasnov B and Shenbrot G. 1996. Spatial structure of community of darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) in the Negev Highlands, Israel. *Ecography*, 19(2), 139–152.
- Krasnov B, Shenbrot G, Khokhlova I, and Ivanitskaya E. 1996. Spatial patterns of rodent communities in the Ramon erosion cirque, Negev Highlands, Israel. *Journal of Arid Environments*, 32(3), 319–327.
- Krasnov B and Shenbrot G. 1998. Structure of communities of ground-dwelling animals at the junction of two phytogeographic zones. *Biogeography*, 25(6), 115–1131.
- Krasnov B and Ayal Y. 1995. Seasonal-changes in darkling beetle communities (coleoptera, Tenebrionidae) in the Ramon erosion cirque, Negev Highlands, Israel. *Journal of Arid Environments*, 31(3), 335–347.
- Lifeplan. 2021. Lifeplan – A Planetary Inventory of Life. University of Helsinki. <https://www.helsinki.fi/en/projects/lifeplan>. Viewed 23 Aug 2023.



שיטת הנגב בנחל גונים, בקצה הדרומי של מכתש רמון, על רקע מדרונות הנחל
צילום: אלי גרונר