



הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור שיטים באגני משנה של נחל שיטה

רחל ארמוזה-זבולוני^{1*} | אתי עבאדי^{1,2} | ינאי שלומי¹ | חנן גינת¹ | ניצן שגב¹ | רחמים שם טוב¹

1 מו"פ מדבר וים המלח

2 המכון לארכיאולוגיה ובית ספר ג'ק, ג'וזף ומרטון מנדל ללימודים מתקדמים במדעי הרוח,

האוניברסיטה העברית בירושלים

* rachel@adssc.org

תקציר

גבוהה של גיר וצור. הכיסוי הסלעי תורם ליצירת נגר, ולכן מבטיח את שגשוג השיטים גם בשנים שחונות, כאשר כמות הגשם נמוכה. כשירוד מעט גשם במישורים שאינם סלעיים, יצירת הנגר איטית יותר, וניכר כי במרבית ערוצי המשנה צפיפות השיטים אכן יורדת עם הגדלת שטח הניקוז במעבר האפיק על גבי מישורים לכיוון הערוץ הראשי. כמו כן, מצאנו כי אזורים עם קרקע חרסיתית תורמים לשגשוג השיטים. ככלל, דגם הפיזור של השיטים, הכולל אוכלוסיות מבודדות במעלה ערוצי המשנה, מגדיל את התפוצה הגאוגרפית וצפוי לסייע בשימור השיטים והמגוון הביולוגי הנלווה להן. תוצאות אלה מחזקות את ההבנה שלנו על הקשר בין הפוטנציאל ליצירת נגר ופיזור השיטים באגנים קטנים. התובנות האלה תורמות ליכולתנו להעריך את עמידות השיטים בפני תקופות יובש.

בנחל שיטה יש תחנת מחקר ארוכת טווח המתמקדת בקשר שבין שיטים וזמינות מים שמקורם בגשם ושיטפונות. בתחנה, הממוקמת בערבה הדרומית באקלים צחיח קיצון, מתבצע משנת 2015 ניטור הידרולוגי ואקולוגי הכולל את מגוון המינים הביולוגי, ועצי שיטה בפרט. במחקר הנוכחי בחנו מאפיינים המשפיעים על יצירת נגר ואת אוכלוסיות השיטים בערוצי משנה של נחל שיטה במטרה להבין את הקשר בין פיזור העצים בשטח לפוטנציאל יצירת הנגר באגני ניקוז קטנים. מעקב אחר ירידת גשם והתפתחות זרימות בשנים 2015–2022 אפשר לנו לאפיין את כמות המשקעים הנדרשת ליצירת נגר מקומי על יחידות מסלע שונות ולזרימה בערוצים. כמות הגשם השנתית הממוצעת בשנים 2015–2022 בנחל שיטה הייתה 43 מ"מ, וממוצע ימי הגשם בשנה עמד על 11.1. ב-29% מימי הגשם קיים פוטנציאל ליצירת נגר מקומי, כמות גשם בטווח שבין 3–12 מ"מ. כמות זו אינה מספקת ליצירת זרימה רציפה באגן, אך היא חשובה לשגשוג השיטים בערוצי משנה. דפוס יצירת הנגר משתנה בין יחידות מסלע. נגר עילי באירועי גשם קטנים נוצר במהירות גבוהה על גבי תשתית סלעית של גיר וצור, האופיינית לגבעות הדרומיות והצפוניות במעלה ערוצי המשנה, במקום שעצי שיטה מתבססים ומשגשגים. עצים בראשי האגנים מתבססים בשטח ניקוז קטן בעל אחוז כיסוי

מילות מפתח

אגני ניקוז, אקלים צחיח קיצון, מקדמי נגר, סלעי גיר וצור, עצי שיטה, ערוצי זרימה משניים

מבוא

הקשים שם (אשכנזי, 1995). לרוב הם תלויים בזמינות מים שמקורם בשיטפונות, אם כי ישנן גם עדויות על שימוש במי תהום רדודים (בעיקר בבקעות ובשולי המלחות). שיטים, החיות מאות שנים (Goslar et al., 2013), מוגדרות כמיני מפתח, שמינים רבים של בעלי חיים וצמחים מקיימים איתן יחסי גומלין ותלויים בהן למחייתם (Dean et al., 1999; Hackett et al., 2013). השיטים משמשות מקום מחיה ומקור מזון, ומספקות הגנה, צל ונוטריינטים למגוון קבוצות טקסונומיות. ברחבי הנגב והערבה נפוצים שלושה מינים של שיטה בעלי תפוצה גאוגרפית אופיינית המוכרים כמינים מוגנים: שיטת הנגב (*Vachellia gerrardii*), שיטה סוככנית (*Acacia tortilis*) ושיטה סלילנית (*Acacia raddiana*), שהיא המין הנפוץ בנחל שיטה. לזרעים שמצליחים לנבוט לאחר שיטפונות יש סיכוי נמוך של כ-2.5% לשרוד בשנה הראשונה לאחר הנביטה (Stavi et al., 2015). בזמן זה מערכת השורשים מתפתחת ומגיעה למקור מים שעוזר להם לשרוד בעונה החמה. גם לאחר השנה הראשונה לנביטה אחוז התמותה של פרטים צעירים גבוה, בעיקר בגלל מחסור במים, אך גם בגלל שינויים במבנה האפיק.

התפתחות המערכת האקולוגית סמוך לערוצי הזרימה תלויה בכמות המים הזמינה לעצים לאחר שיטפונות. ככלל, ככל ששטח הניקוז גדול יותר, הספיקות המרביות גדולות יותר, כמו גם נפח הזרימה והמשך שלה (Kampf et al., 2016; 2018). אם כך, היינו משערים שצפיפות העצים תגדל במורד הנחל עם גדילה של שטח הניקוז, אך מסתבר שזה אינו המצב. אין מתאם בין צפיפות העצים לשטח הניקוז, ודגם הפיזור של עצי השיטה מורכב ולא ברור. מתצפיות שדה בנחל שיטה נראה כי עצי שיטה מצליחים להתבסס, לשגשג ולשרוד לאורך שנים בערוצי משנה בעלי שטח ניקוז קטן, אך אינם משגשגים במורד ערוצי משנה. אם נבין את היכולת של השיטים לשרוד בערוצי משנה בעלי שטח ניקוז קטן, נגר נמוך, נוכל להעריך את עמידות השיטים לתנאי יובש. נוסף על כך, קיומן של אוכלוסיות שיטים קטנות ומרוחקות בערוצי משנה קריטי לתפוצה הגאוגרפית של השיטים ושל המגוון הביולוגי המלווה אותן. במטרה להבין אילו דגמי פיזור יש לעצים באגני משנה של נחל שיטה, ואילו תנאים משפיעים על פיזורם, ערכנו מחקר שכלל בחינה של פיזור העצים באגני משנה, בחינת הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר באגן הניקוז ובחינת הקשר בין הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר ובין דגמי הפיזור של העצים.

המחקר, המשלב תחומי דעת שונים, מטאורולוגיה, הידרולוגיה, גאולוגיה ואקולוגיה, לא נבנה בצורה היררכית, וברוב המקרים כל תחום דעת עומד בפני עצמו. עם זאת, שילוב התוצאות מאפשר הסתכלות רחבה על הקשר שבין זמינות מים ופיזור עצים.

הערבה והנגב הדרומי מאופיינים באקלים צחיח קיצון הכולל מיעוט משקעים, לחות נמוכה וטמפרטורות גבוהות. שונות רב-שנתית גבוהה בכמות המשקעים, הכוללת תקופות בצורת, מקשה במידה ניכרת על המערכת האקולוגית באזור (Armoza-Zvuloni et al., 2021). באירועי גשם משמעותיים, שיוירד בהם גשם בעוצמה גבוהה, יש סיכוי להתפתחות זרימות ושיטפונות בזק. הזרימה בשיטפונות בזק קצרת מועד, מתפתחת במהירות ובעלת ספיקה גבוהה (Belachsen et al., 2017).

שיטפונות בזק התרחשו בערבה הדרומית בתדירות של 1.5 פעמים בשנה בממוצע בשנים 2017–2022 (המרכז לחקר שיטפונות במדבר, 2023). באירועים אלה חלק מהנגר העילי 'אובד' במהלך הזרימה (איבודי תמסורת) – הוא מחלחל לתוך התשתית במדרונות ובאפיקי הנחלים, והגשם העודף זורם לעבר שפך הנחל (Schwartz, 2016). כמות הנגר ביחס לכמות גשם בשטח מסוים מבטאת במקדם הנגר, המחושב באחוזים, ונקרא גם אפקטיביות הגשם (מקדם נגר גבוה משמעותו יותר נגר עילי ופחות חלחול). דפוס יצירת הנגר משתנה בין יחידות מסלע שונות, ומושפע ממשתי הקרקע וממשתני פני השטח, כמו חספוס, שיפוע, מיקרו-טופוגרפיה, כיסוי אבני וקרומים (גרינבאום ושות', 2003).

למרות השפעות של משתני פני השטח, נמצא כי תשתית סלעית של מסלעים שונים מאופיינת במקדמי נגר גבוהים (86%–51) ביחס לשטח המדרון המכוסה סלע מכורק וכולל אבנים וסלעים (קולוביום) של אותו מסלע (44%–26) בהתבסס על ניסויי המטרה בעוצמת גשם של 60 מ"מ לשעה (גרינבאום ושות', 2003). גם במחקר שהתבסס על אירועי גשם טבעיים בערבה הדרומית נמצאו מקדמי נגר גבוהים בחלקות נגר על גבי משטחי סלע ביחס לשטח מדרוני של אותו מסלע (מאירי ושות', 2021; Yair et al., 2021).

מאפייני הזרימה ותהליכי התחרות מעצבים את מבנה אגני הניקוז, כך שערוצי משנה מתמזגים לערוץ מסדר גבוה יותר. במקרים רבים, כאשר שיפוע הערוץ מתמתן והערוץ רחב מספיק, הזרימה מתפצלת למספר ערוצים מקבילים בדפוס זרימה שנקרא דגם פְּזוּרָה (braided stream). עם הגדלת השיפועים והיצרות מחודשת של האפיק תחזור הזרימה לדגם אחיד (רון, 1979). הנגר המחלחל לתוֹך הלא רווי באפיקי הנחלים הוא מקור המים העיקרי למערכת האקולוגית שמתפתחת באופן בלעדי סמוך לערוצי הזרימה באקלים צחיח קיצון. התפתחות הצמחייה תלויה בתהליכי יצירת הנגר אך גם בחלחול.

עצי שיטה הם העצים הדומיננטיים בערבה ובנגב הדרומי, ולמעשה רק הם ועצי האשל מצליחים לשרוד בתנאי האקלים

שיטות

זרימה, P – זרימה חלקית (זרימה בחלק מהערוצים או בחלק אחד של האגן, מערבי או מזרחי), Y – זרימה רציפה (זרימה בכל אגן הניקוז). כמו כן, ביצענו חישובים של מקדמי נגר על גבי חלקות נגר קטנות.

מקדמי נגר בחלקות נגר קטנות – מקדמי הנגר בשלוש חלקות קטנות בנחל שיטה נבחנו מאז 2017 באירועי גשם שירדו בהם יותר מ-3 מ"מ. כל אחת משלוש חלקות נגר הוקפה במסגרת עשויה פח שהושקעה בתוך התשתית עד לעומק 10 ס"מ. גודל כל חלקה נקבע ל-4 מ"ר, והן מוקמו על גבי שלוש יחידות שונות (תצורות מישאש ומנוחה, קולוביום של מישאש, מישורי רג). חלקות הנגר נבחרו לאחר שאזורים נרחבים נבחנו והשוו, במטרה לייצג את יחידות המסלע באגן נחל שיטה. בגלל השונות הטבעית בחספוס, בשיפוע, בכיסוי האבני ובמכנה, החלקות הקטנות אינן יכולות לייצג את כל משתני פני השטח שיש באגן. עם זאת, החלקות מצביעות על הפוטנציאל לדפוסים שונים ביצירת הנגר על גבי מסלעים שונים. מד הגשם שרושם ומשדר מוקם במרחק של 100-130 מטר מהחלקות, ובאמצעותו חושבה עוצמת הגשם לאורך האירוע. כדי להתמודד עם השונות המרחבית הגבוהה בתפרוסת הגשם ולהגדיל את הדיוק בחישוב מקדמי הנגר הותקן גם מד גשם נוסף צמוד לחלקות הנגר. מד הגשם הנוסף סיפק מדידה של כמות הגשם באירועים, ובעזרתה חושבו כמויות הנגר בחלקות. מקדמי הנגר מחושבים על ידי חלוקה של כמות הנגר בחלקה בכמות הגשם הכללית על גבי אותה חלקה. הנגר נאסף במכל ונמדד בסוף האירוע. כמות הגשם בחלקה מחושבת באמצעות הכפלה של כמות הגשם שירדה בשטח החלקה.

אפיון דגמי הפיזור של שיטים

סקר שדה למיפוי השיטים – כל השיטים באגני המשנה אותרו ומופו באמצעות סקר רגלי מקיף במהלך אפריל עד יוני 2022 ובאמצעות צילום ותיעוד בתוכנת Fulcrum. מדדים שנאספו בשדה כללו מיקום ומצב חיות (חי/מת). הגדרת עץ מת נעשתה לפי קריטריונים של היעדר עלווה, מצב הגזע (התקלפות, שבירה, יובש, שינוי בצבע) וחורים בגזע מפעילות של חרקים. נוסף על כך, במעלה כל ערוץ משנה זוהה העץ הראשון בערוץ. באמצעות ממ"ג (GIS) ותצלום אוויר של נחל שיטה שויך כל עץ לערוץ משנה ולתת-ערוץ משנה. בסך הכול זוהו 20 ערוצי משנה, ותועדו 561 עצי שיטה. מכיוון שעצי שיטה מאריכי חיים, השינויים במבנה האוכלוסייה איטיים מאוד, ולכן אנו מניחים שמה שמתועד בסקר אינו מצב זמני.

צפיפות העצים לאורך ערוצי משנה – צפיפות העצים חושבה באמצעות יישומי ממ"ג לפי מספר העצים הנמצאים ברדיוס של 200 מטר מכל עץ. צפיפות העצים נבדקה עבור

אתר המחקר – תחנת LTER נחל שיטה

נחל שיטה נמצא בערבה הדרומית, כ-70 ק"מ צפונית לאילת. מצפון לו משתרעת שלוחת נוצה (263 מטר מעל פני הים), המהווה את קו פרשת המים בין הנחלים המתנקזים דרומה למלחת יטבתה, לבין אלה הזורמים צפונה לעבר ים המלח. אורכו של הערוץ המרכזי של נחל שיטה הוא כ-8 ק"מ ממערב למזרח, וערוצי המשנה מתנקזים לנחל מצפון ומדרום. השיפועים בנחל מתונים, והוא מתחתך בתוך עמק רחב ידיים בדגם פזרות. בשיאו מגיע העמק לרוחב של 3 ק"מ, שאינו אופייני לנחל בעל אגן ניקוז קטן. מאפייני הקרקע בשולי האגן, מדרום ומצפון: א. גבעות עם מסלע קשה של גיר וצור (בעיקר מתצורת מישאש ומעט מתצורת מנוחה שהיא דקה ונחשפת באזורים מועטים); ב. מדרונות של הגבעות הסלעיות (שהן תצורות מישאש ומנוחה) המכוסות סלע מפורק (קולוביום) שמתחתיו סלע אם; ג. החלק העיקרי והמישורי של הנחל מאופיין בקרקע מישורית המכוסה שברי סלעים (מישורי רג); ד. במרכז האגן לכיוון מזרח, ישנה קרקע חרסיתית אדומה (תצורת צחיחה, Ginat et al., 2002). מתוך שטח אגן הניקוז (18 קמ"ר) הכיסוי של יחידות המסלע הוא: 32% סלעי גיר וצור, 11% קרקע חרסיתית אדומה ו-57% אפיקים ומשטחים של קרקע מישורית המכוסה שברי סלעים. הגבעות והמדרונות אינם מכוסים בצמחייה או בקרומי קרקע בשל האקלים היובשני. נחל שיטה נשלט ברובו על ידי שיטה סלילנית. נוסף על כך, ישנם עצי שיטת הנגב ושיטת מכלוא (תוצר רבייה לא פורה של שיטה סלילנית ושיטת הנגב), אם כי בצפיפות נמוכה (שיפריין, 2021).

בחינת הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר

כמות הגשם – כדי לאפיין את כמות הגשם בנחל שיטה בתקופות זמן שונות נאספו נתוני גשם באמצעות מד גשם רושם ומשדר בצורה עקבית במהלך שבע שנים, 2015-2022. מנתוני הגשם ריכזנו את כמות הגשם היומית והשנתית ואת עוצמת הגשם המרבית באירוע (ביחידות של מ"מ לשעה). כמו כן, יצרנו התפלגות של כמות הגשם היומית כדי להעריך את אחוז הימים הגשומים שיש בהם פוטנציאל ליצירת נגר באגן.

אירועי גשם ושיטפונות – לאורך השנים מתבצעים מעקב וניטור אחרי גשם ושיטפונות באירועים שיש בהם פוטנציאל ליצירת נגר. ניטור שיטפונות מתבצע באמצעות חיישני לחץ המוצבים בערוצים המתעדים את גובה הזרימה, מועדה ומשכה בחלק המערבי והמזרחי של האגן. תוצאות אלה אינן מוצגות במלואן במאמר זה, אך מתוכן אפיינו את הזרימה עבור כל אירוע באמצעות שלוש קטגוריות: N – לא תועדה

המסלע של שטח הניקוז אופיין באמצעות מפה גאולוגית של אגן נחל שיטה והשוואתה לתצלומי אוויר ולמיקום העץ הראשון.

עצים חיים ועצים מתים בנפרד. ההתייחסות במאמר היא רק לעצים החיים.

בחינת הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור העצים

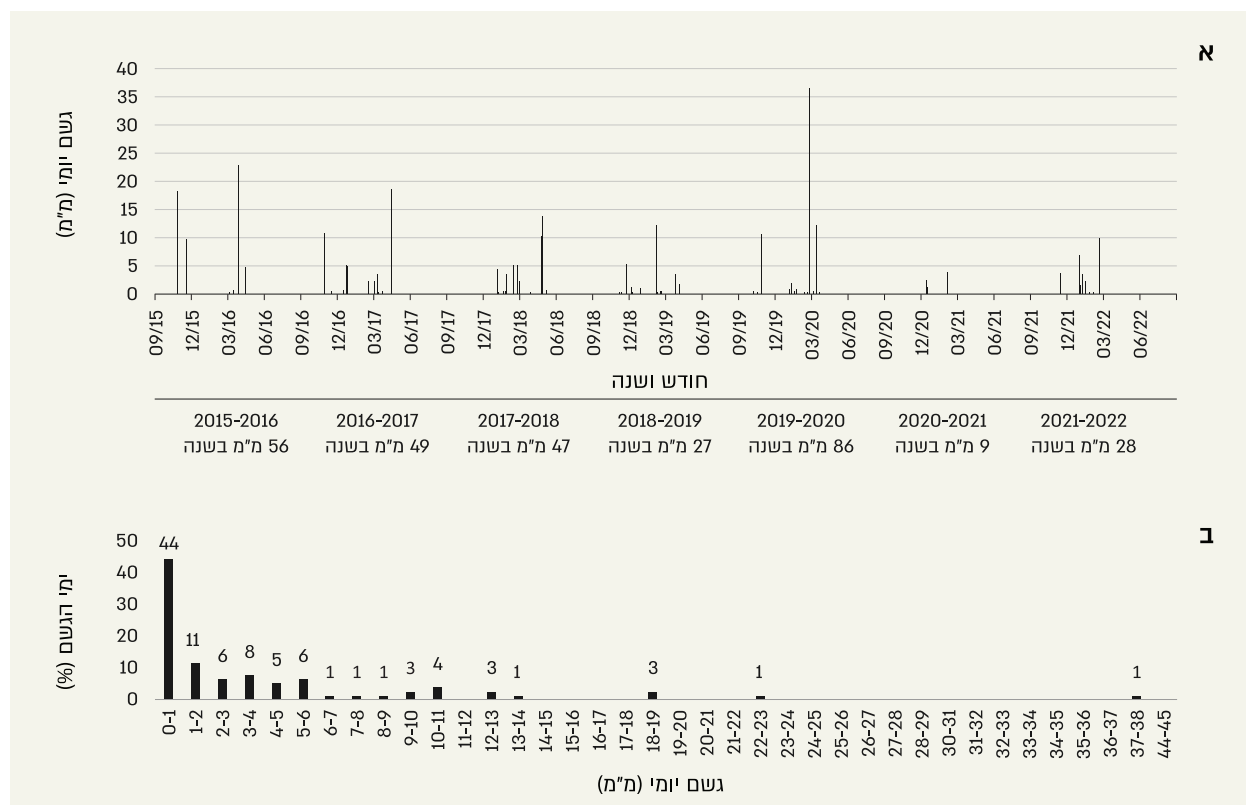
פיזור העצים ביחס לשטח הניקוז – עבור כל עץ חי שבנו את השטח המתנקז אליו. יצרנו שכבת הצטברות זרימה בממ"ג בעזרת DEM באמצעות יישום flow accumulation, המתארת את שטח הניקוז עבור כל פיקסל באגן הניקוז. שטח הניקוז עבור כל עץ נקבע בעזרת מיפוי העצים באגן ומתוך שכבת הצטברות הזרימה: שטח הניקוז אל העץ הוא הערך המרבי של שטח התנקזות בפיקסל קרוב אליו.

אפיון מסלעי של שטח הניקוז עד העץ הראשון במעלה הערוץ – בנייתו הזו הסתכלנו על מיקום העצים הראשונים – הזקוקים לשטח הניקוז הקטן ביותר – במעלה הערוץ בכל ערוץ משנה, ובחנו את מאפייני המסלע של השטח המתנקז אליהם. הקיום של העצים במעלה ערוצי המשנה מעיד כי התנאים במקום טובים מספיק להתבססות עצים. כיסוי

תוצאות

הגורמים המשפיעים על יצירת הנגר

גשם – לאורך שבע שנות מדידה היו בנחל שיטה 79 ימי גשם, ובממוצע 11 ימי גשם בשנה. כמות הגשם הממוצעת היא 43 מ"מ בשנה וטווח המדידות הרב-שנתיות היה 9–86 מ"מ (איור 1א). כשבוחנים את התפלגות הגשם לפי כמות גשם יומית מגלים כי ברוב הימים הגשומים ירד מעט גשם, ובמספר מועט של ימים ירדו כמויות גשם גבוהות (איור 1ב). במהלך שבע שנים בין 2015–2022 רק בשבעה ימים ירדו יותר מ-12 מ"מ גשם (7 מתוך 79 ימי גשם, כלומר 9%), בשמונה ימים ירד גשם בטווח שבין 6–11 מ"מ גשם (10%), וב-15 ימים ירדו בין 3–5 מ"מ גשם (19%), ב-14 ימים ירדו בין



איור 1

כמות משקעים רב-שנתית לאורך שבע שנים הידרולוגיות בין 2015–2022

א. גשם יומי לאורך שבע שנות מדידה במד גשם רושם בנחל שיטה. העונות הגשומות (שכוללות את החודשים שבין אוקטובר למאי) מופיעות מתחת לציר הזמן כשמתחתן מופיעה כמות המשקעים השנתית (ביחידות של מ"מ לשנה הידרולוגית); ב. התפלגות כמות הגשם היומית מתוך 79 ימי הגשם בנחל שיטה בשנים 2015–2022. העמודות והמספר מעליהן מייצגים את אחוז הימים מתוך 79 שירד בהם גשם בכמות מעל טווח המדידה (1 מ"מ).

נמדדו מקדמי נגר נמוכים ברוב המקרים. בחלקה המייצגת את מישורי הרג כמות הנגר הייתה בדרך כלל נמוכה באירועי גשם קטנים של 3-5 מ"מ, ועמדה על 4% נגר בממוצע. באירועי גשם של 6-11 מ"מ גשם כמות הנגר הייתה בממוצע 15.5% נגר. באירועי גשם משמעותיים עם כמות גשם גבוהה של 13-45 מ"מ, כמות הנגר על מישור הרג הייתה הגבוהה ביותר מבין החלקות והגיעה בממוצע ל-52%.

פיזור שיטים בערוצי משנה

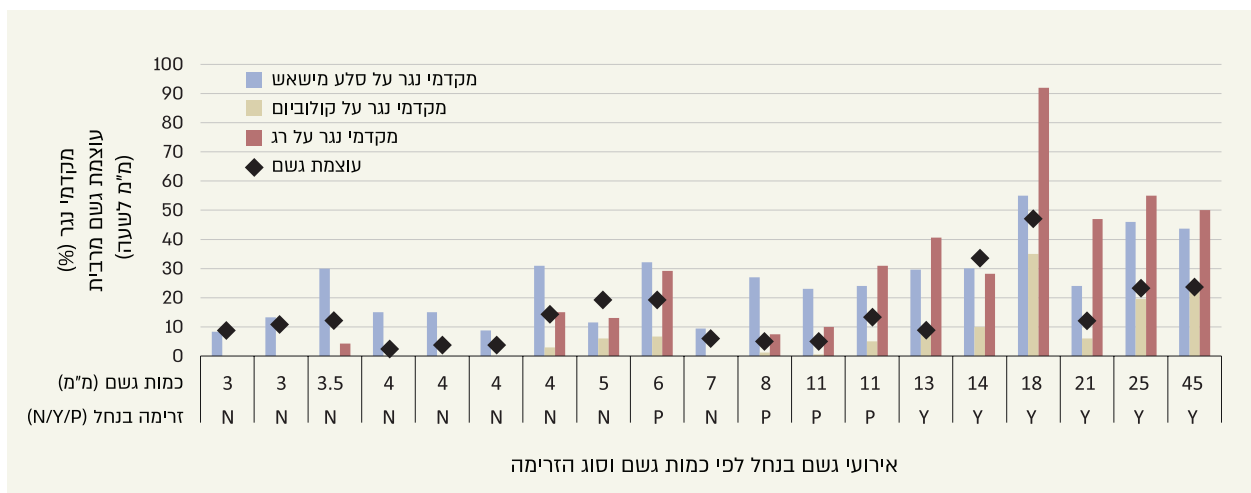
במטרה לאפיין ולמפות את כל אוכלוסיית העצים ערכנו סקר שדה בנחל שיטה. חיפשנו ותיעדנו את כל עצי השיטה בכל ערוצי המשנה של הנחל, כולל בדגמי הפזרות במורדות הערוצים ובמדרונות המשופעים במעלה הערוצים (איור 3). בכל ערוץ משני סומנו העצים הראשונים במעלה הערוצים. הנוכחות והמיקום של העצים במעלה הערוצים מצביעים על כך שזמינות המים במקום מאפשרת התפתחות שיטים. זמינות המים מושפעת משטח הניקוז של האגן ומהיכולת שלו ליצור נגר.

בסך הכול מיפנו ואפיינו 561 עצי שיטה: 373 עצים חיים ו-188 עצים מתים. מיקומי העצים היו צמודים לערוצי המשנה או סמוכים אליהם. 17 עצים הופיעו בסמיכות לשביל עפר שחוצה את אגן הניקוז מדרום-מזרח לצפון-מערב. ניתן לראות את מיקום שביל העפר באיור 3. העצים הסמוכים לדרך הוחסרו מניתוח הצפיפות. בחלק גדול מערוצי המשנה הופיעו העצים הראשונים

1-3 מ"מ גשם (18%), וב-35 ימים ירד פחות מ-1 מ"מ גשם (44%).

יצירת נגר באירועי גשם וזרימה – במהלך שנות המדידה עקבנו אחרי אירועי גשם וזרימה בנחל שיטה, תיעדנו את מועדי השיטפונות, וחישבנו מקדמי נגר על גבי חלקות נגר קטנות. באירועי גשם קטנים של 3-5 מ"מ לא תועדו כלל זרימות בנחל. בכמות משקעים של בין 6-11 מ"מ תועדו זרימות חלקיות שנוצרו בחלק אחד של אגן הניקוז ולא הצליחו להתפתח לכל אורכו, או זרימות שתועדו רק בערוצי משנה ולא תועדו בערוץ הראשי. באירועי גשם משמעותיים של 13 מ"מ גשם ויותר תועדו זרימות רציפות לאורך כל ערוץ הנחל (איור 2). מקדמי הנגר על גבי חלקות הנגר הקטנות הראו דפוס כללי דומה. כשכמות הגשם הייתה נמוכה, רק בחלק מהחלקות נוצר נגר, בעוד שבכמות גשם גבוהה יותר, נמדדו מקדמי נגר בכל החלקות. נמצא מתאם בין מקדמי הנגר לעוצמת הגשם המרבית באירוע (איור 2).

חלקות הנגר נבדקו באירועים שירדו בהם 3 מ"מ גשם ומעלה. לכל אחת מחלקות הנגר היה דפוס שונה של יצירת נגר. על גבי חלקת הנגר שממוקמת על סלע סדוק (תצורת מישאש) נמדדו מקדמי נגר בכל אירועי הגשם. באירועי גשם של 3-5 מ"מ נמדדו בממוצע 16.6% נגר. באירועי גשם של 6-11 מ"מ נמדדו בממוצע 23.1% נגר. באירועי גשם של 13-45 מ"מ גשם נמדדו בממוצע 38.1% נגר. בחלקת נגר שממוקמת עם גבי מדרון המכוסה סלע מפורק (קולוביום)



איור 2

מקדמי נגר וזרימות באירועי גשם בנחל שיטה

תיעוד כמויות גשם, עוצמות גשם מרביות, זרימות ומקדמי נגר באירועי גשם. אירועי גשם משמאל לימין מופיעים לפי כמות גשם באירוע (במ"מ). מתחת לכמות הגשם מופיעה מידת הזרימה השיטפנית בשלוש קטגוריות: ללא זרימה (N), זרימה בחלק מערוצי הזרימה (P), זרימה רציפה (Y). בכל אירוע מופיעה עוצמת הגשם המרבית במהלך 10 דקות (מעין שחור) ומקדמי הנגר שנמדדו בשלוש חלקות נגר קטנות הממוקמות כל אחת על מסלע אחר (סלע מישאש, קולוביום של מישאש ומישורי רג).

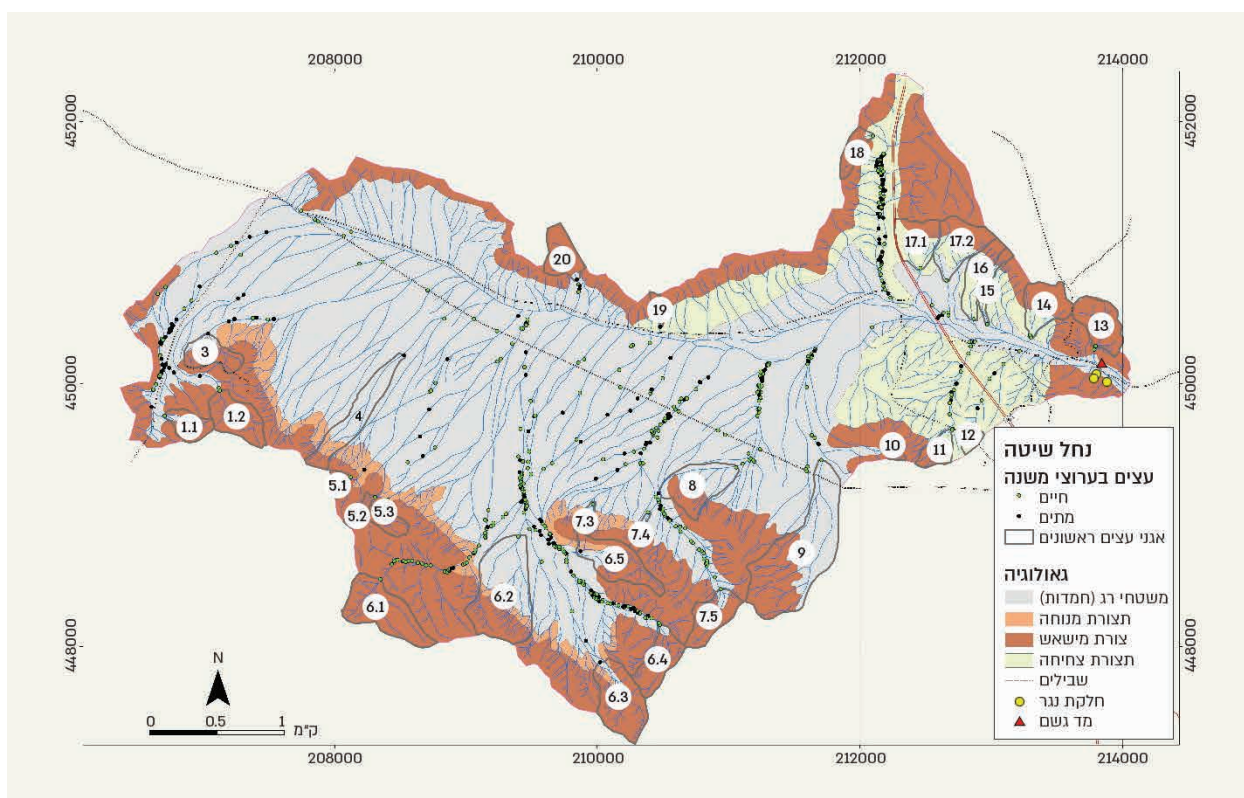
הגיר והצור ובמישורי הרג (ערוצי משנה 1, 5, 6, 7, 8, 9), וארבעה מהם (ערוצי משנה 11, 12, 17, 18) בחלק המזרחי בערוצים שמתחתרים בחרסית האדומה (איור 4).

כדי להבין את דגם הפיזור של עצי השיטה בחנו את השינויים בצפיפות העצים (מספר העצים ברדיוס של 200 מטר מכל עץ) לאורך הערוץ ביחס לשטח הניקוז בקרבת העצים, והבחנו במספר דגמי פיזור. בערוצי המשנה המערביים (1, 5, 6, 7, 8 ו-9) צפיפות העצים במעלה הערוץ נמוכה. הצפיפות עולה ככל ששטח הניקוז גדל, אך בשלב מסוים הצפיפות יורדת, אף על פי ששטח הניקוז ממשיך לגדול. העצים חוזרים להופיע רק כששטח הניקוז גדל מאוד, כשמספר ערוצי משנה מתמזגים. לעיתים זה קורה סמוך לערוץ המרכזי (כמו בערוצי משנה 5, 8 ו-9), ולעיתים זה קורה במרכז הערוץ (כמו בערוצי משנה 1, 6, 7). בערוצי משנה בחלק המזרחי של האגן (ערוצי משנה 11, 12, 18) העצים לרוב פזורים בצורה אחידה לאורך כל הערוץ, עד הערוץ המרכזי. צפיפות העצים לא משתנה עם העלייה בשטח הניקוז. בערוץ 18 לשני העצים הראשונים יש שטח

בערוצים מסדר שני ושלישי, שהתחתרו סמוך לגבעות הסלעיות של צור וגיר (בחלק המערבי), או בערוצים שהתחתרו בתשתית החרסית האדומה (בחלק המזרחי). בסך הכול נמצאו 28 עצים במעלה ערוצי המשנה ותתי-ערוצי המשנה, השייכים ל-19 ערוצי משנה (לחלק מערוצי המשנה, כמו ערוץ 6, יש מספר תתי-ערוצים 6.1, 6.2, 6.3, שבכל אחד מהם עץ ראשון במעלה הערוץ). בערוץ משנה 19 נמצא עץ אחד מת. ערוץ משנה 2 נמצא כלא מתאים לניתוח והוחסר.

הקשר בין פוטנציאל יצירת הנגר ופיזור העצים

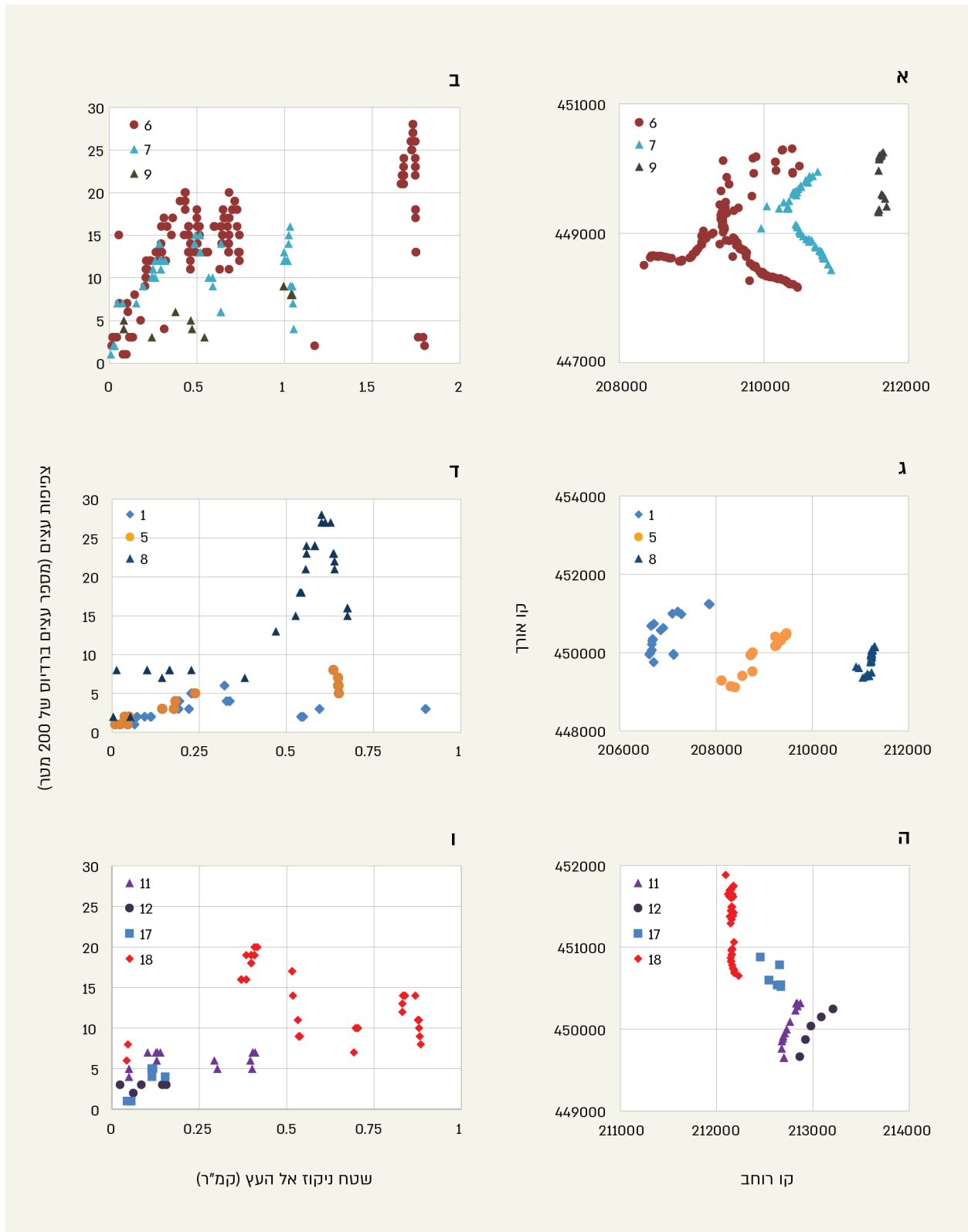
מתוך 18 ערוצי משנה שנמצאו בהם עצים חיים, בשמונה ערוצים נמצאו בין עץ אחד לארבעה עצים חיים (ערוצי משנה, 3, 4, 10, 13, 14, 15, 16, 20). ארבעה מהם בחלק המזרחי בערוצים שמתחתרים בתשתית חרסית אדומה, וארבעה בערוצים שמתחתרים בסלעי הצור והגיר ובמישור הרג. ביתר עשרת הערוצים נמצאו יותר מחמישה עצים חיים. שישה מהם נמצאים בערוצים שמתחתרים בגבעות



איור 3

שיטים בערוצי משנה של נחל שיטה על גבי מפה גאולוגית וסימוני הערוצים

בערוצי משנה מופו במהלך סקר שדה 561 עצים, והעצים בראשי ערוצי המשנה, ובמקרה הצורך גם בתתי-הערוצים שלהם, סומנו. עבור כל עץ ראשון בערוץ משנה ובתתי-הערוצים שלו חושבו שטח הניקוז (פוליגונים אפורים) ומאפייני המסלע של השטח. במפה הושמטו בכוונה כל העצים בערוץ המרכזי. כמו כן, המאמר עוסק בפיזור העצים החיים בלבד, בעוד שבמפה מופיעים גם העצים המתים. המספר מציין את ערוץ המשנה, ואחרי הנקודה העשרונית מצוינים תתי-הערוצים שלו.



איור 4

פיזור העצים לאורך ערוצי משנה של נחל שיטה

א, ב, ג: מיקום העצים בכל ערוץ משני על פי מיקומם ברשת ישראל (קואורדינטות XY). כל ערוץ משני מסומן בצבע ובצורה אופייניים; ד, ה, ו: צפיפות העצים ביחס לשטח הניקוז עבור על עץ בערוצי משנה. א, ב, ד, ה: ערוצי משנה שמתחתרים בחלק המערבי בגבעות הגיר והצור, ובמורד במישורי הרג; ג, ו: ערוצים שמתחתרים במזרח, תחילה בגבעות גיר וצור קשות, ובמורד בחרסית האדומה.

המזרחיים יותר מאופיינים בתשתית של סלעי גיר וצור, ובמורדם יש בעיקר קרקע חרסיתית אדומה. בערוצים אלה שטח הניקוז אינו שונה, והוא 0.065 קמ"ר בממוצע (נע בין 0.016–0.125 קמ"ר, איור 5א). עם זאת, אחוז השטח הסלעי מכלל שטח הניקוז אל העצים הראשונים במעלה הערוץ שונה בשני האזורים. בחלק המזרחי של נחל שיטה שקיימת בו קרקע חרסיתית אדומה, אחוז הכיסוי הסלעי מכלל שטח הניקוז אל העץ הראשון במעלה הערוץ נמוך (29%±43) בהשוואה לזה של האגנים המערביים (23%±81, איור 5ב).

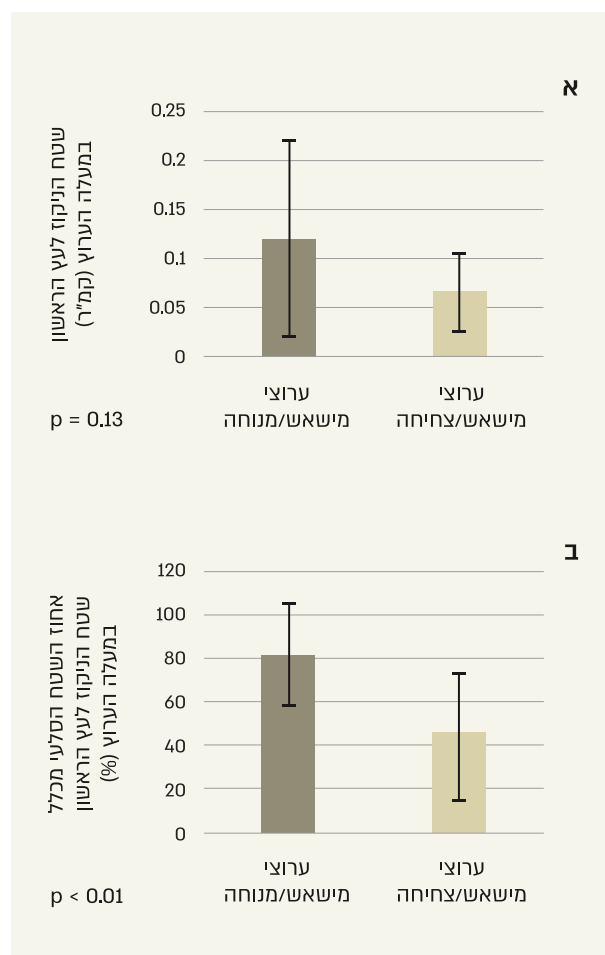
דין

בתחנת מחקר וניטור ארוך טווח (LTER) באגן נחל שיטה נבדק הקשר שבין עצי שיטה וזמינות מים שמקורם בגשם וביטיפונות בזק. במחקר הנוכחי השתמשנו בנתונים מטאורולוגיים, הידרולוגיים, גאולוגיים ואקולוגיים כדי לבסס את הקשר שבין פיזור העצים בערוצי משנה ופוטנציאל ליצירת נגר באירועי גשם קטנים. בעוד שעצי שיטה בערוץ המרכזי נהנים מזרימות שיטפונות שמקורן בחלקים שונים של האגן, עצים בערוצי משנה תלויים ביכולת של האגן ליצור נגר מקומי וביכולת שלו לאגור את המים באפיק הנחל לאורך זמן כדי שיהיו זמינים להתפתחות הצומח. היכולת ליצור נגר באירועים קטנים מגדילה את הסיכוי של השיטים לשרוד לאורך זמן, גם בשנים שחונות שמתרחשים בהן אירועי גשם קטנים. במעקב אחרי ירידת הגשם באגן ואירועי זרימה מצאנו כי מתוך 79 ימי גשם במהלך שבע שנות מדידה, רק ב-9% מימי הגשם יש פוטנציאל לזרימה רציפה שתכלול את כל ערוצי הזרימה (בממוצע יום אחד בשנה עם יותר מ-13 מ"מ). עם זאת, ישנו מספר גדול של ימים שיוורד בהם גשם באגן נחל שיטה, והם בעלי פוטנציאל ליצירת נגר מקומי (29% מימי הגשם שיוורדים בהם 3–12 מ"מ).

בדומה למחקרים אחרים (גרינבאום ושות', 2003; מאירי ושות', 2021; Yair et al., 2021), גם במחקר זה מצאנו דפוסים שונים של יצירת נגר על גבי מסלעים שונים ובין תשתית סלעית לתשתית מדרונית. נגר עילי נוצר מהר ובהיקף גבוה על גבי תשתית סלעית באירועי גשם קטנים של 3 מ"מ ויותר, והמקדם המרבי ביצירת הנגר על גבי המסלע הגיע ל-55% באירוע טבעי. בחלקת המדרון הכוללת סלע מפורק, מצאנו מקדמי נגר נמוכים יותר מאשר בשתי החלקות האחרות. בהשוואה לסלע הסדוק, על גבי מישור הרג מקדמי הנגר היו נמוכים יותר באירועי גשם קטנים של 3 מ"מ, אך באירועים של 11 מ"מ גשם ומעלה נוצרה על גבי מישור זה כמות נגר גבוהה יותר, ואחוזי הנגר עלו כתלות בעוצמה ובכמות של הגשם. במחקר שנערך בעזרת ממתיר גשם על גבי מישורי רג, נמצא כי מקדמי הנגר גדלים בהתאם לעוצמת הגשם

ניקוז קטן מאוד, והם נמצאים במעלה בצפיפות נמוכה, בעוד שיתר העצים פזורים בצורה אחידה עד הערוץ המרכזי. בערוץ 17 ישנם שני עצים במעלה הערוץ, ויתר העצים צומחים לפני ההתמזגות עם הערוץ המרכזי.

בנחל שיטה נמצאו 28 שיטים שהתבססו במעלה ערוצים מסדר שני ושלישי (עצים ראשונים בערוץ). במטרה להבין אילו תנאים מאפשרים התפתחות של שיטים במעלה ערוצי משנה אפיינו את שטח הניקוז ואת מאפייני המסלע בשטח התורם עבור כל העצים הראשונים (איור 5). בערוצי המשנה המערביים של נחל שיטה המאופיינים בתשתית מסלע של גיר וצור, שטח הניקוז עבור 19 עצים ראשונים בערוץ הוא בממוצע 0.12 קמ"ר (בין 0.016–0.421 קמ"ר). ערוצי המשנה



איור 5

מאפייני שטח הניקוז לעצים הראשונים במעלה ערוץ

א. גודל שטח הניקוז (קמ"ר) לכל עץ ראשון במעלה הערוץ; ב. אחוז השטח הסלעי מכלל שטח הניקוז לעץ הראשון. בעמודות מוצגת השוואה בין שני סוגי אגנים: בחלק המערבי יש במורד מישורי רג (עמודות כהות), ובחלק המזרחי יש במורד קרקע חרסיתית (עמודות בהירות). עצים ראשונים במעלה הערוץ והשטח המתנקז אליהם, כמו גם המפה הגאולוגית, מוצגים באיור 3.

להעריך מהם מקורות המים הזמינים לשיטים (Sher et al., 2010; Winters et al., 2015), ומחקרים אקו-פיזיולוגיים נערכו כדי להעריך את עמידות השיטים ליובש (Winters et al., 2018; Uni et al., 2022). למחקרים אלה ואחרים חשיבות רבה להבנת יכולת העמידות של עצי השיטה בפני תנאי יובש.

במספר מחקרים שבחנו את אוכלוסיית השיטים ביחס למאפיינים הפיזיים של אגן הניקוז וערוצי הזרימה, נמצא כי עצי השיטה בקרבת הערוץ גדולים יותר ובעלי קצב גידול גבוה יותר בהשוואה לעצי השיטה על גבי מישורי הרג, ככל הנראה בשל זמינות מים גבוהה באפיק (Lahav-Ginott et al., 2001). עם זאת, לא נמצא מתאם בין תמותת עצים וגודל אגן הניקוז או מיקומו של העץ בבתי גידול לרוחב האפיק (Stavi et al., 2014). כמו כן, תהליכים מרחביים הידרולוגיים ארוכי טווח תועדו באמצעות מאפייני מיקום, גודל ובריאות העצים בנחל קטורה (Isaacson et al., 2017). נוסף על כך, נמצא כי שיטים שהתבססו קרוב יותר למדרונות, הצליחו לשרוד תקופת יובש באחוזים גבוהים יותר, ככל הנראה בזכות תרומה של נגר ממדרונות באירועי גשם (Armoza-Zvuloni et al., 2021).

בהתאם לדפוס יצירת הנגר, פיזור השיטים אינו אחיד לאורך ערוצי המשנה. בערוצים המערביים יותר בנחל שיטה השיטים מתבססות במעלה ערוצים מסדר שני ושלישי שמתחתרים בתוך תשתית סלעית. תחילה, ככל ששטח הניקוז עולה, גם צפיפות העצים עולה. בשלב מסוים הצפיפות יורדת, והעצים נעלמים למרות התרחבות שטח הניקוז. לרוב העצים נעלמים בערוצי המשנה באפיקים המתחתרים על גבי מישורי הרג. סיבות אפשריות לירידה בצפיפות העצים עם העלייה בגודל אגן הניקוז, נוסף על יצירת נגר נמוכה, הן ירידה בזמינות המים הקשורה לאיבודי תמסורת (איבודי נגר לתווח הלא רווי) במעלה הערוץ ומעבר מזרימה בערוץ יחיד לזרימה בדגם פזרות, כך שנגר הנוצר במעלה חודר לתת-הקרקע, ולא מגיע לזרימה למורד. איבודי תמסורת בתחתית המדרון (Yair and Raz-Yassif, 2004) ובמורד הערוץ במעבר בין ערוצי משנה לערוצים ראשיים יותר (Kampf et al., 2018) יכולים להסביר את צפיפות העצים במעלה האגנים ואת הירידה בצפיפות עם התרחבות שטח הניקוז.

בחלק המזרחי של נחל שיטה יש תשתית מסלע שונה בפני השטח, המאופיינת בגבעות גיר וצור שמתחתיהן יחידה חרסיתית אדומה. באזור זה פיזור העצים לאורך ערוצי המשנה אחיד עד הגעה לערוץ המרכזי, וגם ערוצי המשנה קצרים יותר ושומרים על דגם אחיד עד הערוץ המרכזי. באפיון התנאים המאפשרים התבססות של עצים ראשוניים

ולגילם הגאולוגי של המישורים (הקדומים יצרו יותר נגר מהצעירים), והם יצרו כ-70% נגר בעוצמת המטרה של 76 מ"מ לשעה (Greenbaum et al., 2020). חשוב לציין כי חלקות הנגר שנבדקו במחקר זה אינן יכולות לייצג את כל מאפייני המסלעים ומשנתני פני השטח שיש באגן נחל שיטה. עם זאת, החלקות כן מצביעות על הפוטנציאל לדפוסים שונים ביצירת הנגר על גבי סוגי מסלע שונים.

ביחס למעבר בין סדרי גודל, נמצא כי מקדמי נגר משתנים בצורה משמעותית כתלות בגודל השטח הנבדק. כשנבחנו מקדמי נגר באירועים טבעיים על גבי חלקות נגר במדרון בהר הנגב נמצא כי עם העלייה בגודל החלקות, מקדמי הנגר יורדים בשל כיסוי אבני עבה וקרקע מפותחת שגרמו לאיבודי תמסורת בתחתית המדרון (Yair and Raz-Yassif, 2004). במחקר שנערך בדרום-מערב אריזונה באקלים צחיח קיצוני נמצא כי סף הגשם ליצירת זרימה נמוך בערוצי משנה ביחס לערוץ ראשי, וכי תדירות הזרימות גבוהה יותר בערוצי משנה ביחס לערוצים מרכזיים בגלל כיסוי סלעי והיעדר קרקע מפותחת (Kampf et al., 2018). מכאן אנו מסיקים שיצירת הנגר באגן נחל שיטה אינה אחידה בשטחי אגן הניקוז. האזור הסלעי של גיר וצור קשים בחלק הדרומי והצפוני של אגן נחל שיטה יצר נגר במהירות וביעילות גבוהה יותר באירועי גשם קטנים. המדרונות האבניים יצרו נגר ביעילות נמוכה, בעוד שהאזורים המישוריים במרכז האגן, מישורי הרג, יצרו נגר כאשר כמות הגשם ועוצמתו היו גבוהים. באירועי גשם גדולים וחזקים יש למישורי הרג יכולת גבוהה ביצירת נגר, יותר מזו של התשתית הסלעית. מקדמי נגר גבוהים על גבי מישורי הרג באירועים גדולים הם, ככל הנראה, המקור לזרימות החזקות בשיטפונות. ניתן להעריך שבהינתן רצף של שנים ברוכות במשקעים, עצים יתבססו בתוך ערוצים החוצים את מישורי הרג בצפיפות גבוהה, ויאפשרו קשר רציף בין אוכלוסיות מבודדות של שיטים במעלה האגנים לאוכלוסיית העצים המרכזית בערוץ הראשי. רצף שנים שחונות יקשה על עצים בערוצים בין מישורי הרג לשרוד בגלל יצירת נגר נמוכה.

עצי שיטה מהווים מוקד למחקר ולניטור בערבה ובנגב בשל היותם מיני מפתח והעצים הדומיננטיים בכל המרחב, שמשמשים סמנים ביולוגיים (bioindicators) למצב המערכת האקולוגית המדברית (פלד, 1988; אשכנזי, 1995). מחקרים רבים בחנו את אחוזי התמותה של אוכלוסיות השיטים בעקבות רצף שנות בצורת והפרעות אנתרופוגניות (Bendavid-Novak and Schick, 1997; Shrestha et al., 2003). תצלומי אוויר ותמונות לוויין שימשו להעריך שינויים במצב האוכלוסיות בפרספקטיבה ארוכת טווח (Andersen and Krzywinski, 2007). טכניקות שונות שימשו כדי

סיכום ממצאי המחקר ושאלות להמשך

במחקר זה בחנו את הקשר בין פוטנציאל יצירת נגר באגנים קטנים בנחל שיטה לבין פיזור העצים לאורך ערוצי המשנה. מצאנו כי קיים קשר בין דפוס יצירת הנגר על גבי יחידות מסלע שונות ובין צפיפות העצים, וכי נוכחות של קרקע חרסיתית אדומה תורמת להתפתחות שיטים באגני ניקוז קטנים. אנו מציעים כאן שהמאפיינים המטאורולוגיים, ההידרולוגיים, הגאולוגיים והגאומורפולוגיים משפיעים על זמינות המים ועל יכולת העצים להתבסס לאורך ערוצי הנחלים באקלים צחיח קיצון.

ככלל, התוצאות תורמות להבנה שלנו את יכולת העמידות של שיטים בפני יובש בשנים מעוטות משקעים, כלומר, בשנים שיש בהן אירועי גשם קטנים שאינם מצליחים ליצור זרימה שיטפונת בערוצים מרכזיים, אך מהווים פוטנציאל ליצירת נגר מקומי בערוצי משנה.

סוגיות שעולות מן המחקר ולא נענו במהלכו, יכולות לשמש למחקרי המשך: אפיון גאומורפולוגי של אגן נחל שיטה ומיפוי אזורי המדרונות אל מול השטחים הסלעיים; מדידת מקדמי נגר במאפייני פני שטח שונים ובסדר גודל שונים; אפיון הגודל ומצב החיות של השיטים לאורך ערוצי המשנה; בחינת מיקום היחידה החרסיתית מתחת לפני השטח באגן נחל שיטה.

בערוץ, מצאנו כי אחוז הכיסוי של תשתית הגיר והצור מכלל שטח הניקוז אל העץ הוא בממוצע 81% בערוצים בצד המערבי. אנו מסיקים שהתשתית הגאולוגית תורמת ליצירת נגר באירועי גשם קטנים, ומאפשרת לעצים להתבסס ולשגשג באזורים אלה. בערוצים בצד המזרחי של אגן הניקוז הכיסוי של תשתית גיר וצור מגיע רק ל-43% בממוצע. עם זאת, שטחי הניקוז אל העצים הראשונים דומים בשני צידי האגן. תוצאות אלה מראות שעצים במעלה הערוץ, בחלק המזרחי של נחל שיטה, מצליחים להתבסס באזורים בעלי שטחי ניקוז דומים לאלה שבחלק המערבי, אף על פי שאחוז הכיסוי של תשתית גיר וצור נמוך יותר. תוצאות אלה מחזקות ממצאים אחרים, ומצביעות על תרומה של היחידה החרסיתית להתבססות ולשגשוג של השיטים.

ככלל, נראה שהתשתית החרסיתית מאפשרת זמינות מים גבוהה ושגשוג של אוכלוסיות שיטים לכל אורך ערוצי המשנה. במחקר קודם נבדקה התרומה של היחידה החרסיתית לשגשוג השיטים בנחל שיטה ובנחלים אחרים (Stavi et al., 2016), ונמצא כי באזורים שהיחידה החרסיתית נפוצה בהם, האחוז הממוצע של העצים החיים היה גבוה בהשוואה לאפיקי נחלים ללא היחידה החרסיתית. הקרקע החרסיתית נמצאה איכותית יותר מקרקע שמאפיינת אפיקי נחלים (אלוביום) במרקם הקרקע (חרסיתית לעומת חולית), בקיבולת המים הזמינים (לחות היגרסקופית גבוהה, קיבולת שדה גבוהה, נקודת כמישה נמוכה) ובתכונות הכימיות (פחמן אורגני גבוה וסידן פחמתי נמוך).

מקורות

- Andersen GL and Krzywinski K. 2007. Mortality, recruitment and change of desert tree populations in a hyper-arid environment. *PLoS ONE*, 2(2), e208.
- Armoza-Zvuloni R, Shlomi Y, Shem-Tov R, Stavi I, and Abadi I. 2021. Drought and anthropogenic effects on acacia populations: A case study from the hyper-arid Southern Israel. *Soil Systems*, 5, 1–13.
- Belachsen I, Marra F, Peleg N, and Morin E. 2017. Convective rainfall in a dry climate: Relations with synoptic systems and flash-flood generation in the Dead Sea region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, 5165–5180.
- Bendavid-Novak H and Schick AP. 1997. The response of Acacia tree populations on small alluvial fans to changes in the hydrological regime: Southern Negev Desert, Israel. *Catena*, 29, 341–351.
- Greenbaum N, Mushkin A, Porat N, and Amit R. 2020. Runoff generation, rill erosion and time-scales for hyper-arid abandoned alluvial surfaces, the Negev desert, Israel. *Geomorphology*, 358, 107101.
- אשכנזי ש. 1995. **עצי השיטה בערבה ובנגב, סקר בעקבות תופעות התייבשות ותמותה**. הקרן הקימת לישראל, מנהל פיתוח קרקע.
- גרינבאום נ, שלמוני ע ושיק א. 2003. השלכות גאומורפולוגיות ויישומים הידרולוגיים של ניסויי חידור מדרוניים בסובב צחיח קיצון, **אופקים בגיאוגרפיה**, 57–58, 44–69.
- המרכז לחקר שיטפונות במדבר. 2023. **תוצאות ניטור הידרולוגי בין השנים 2017–2022**. מו"פ מדבר וים המלח. <https://floods.org.il/%d7%93%d7%95%d7%97%d7%95%d7%aa-%d7%a9%d7%a0%d7%aa%d7%99/d7%99%d7%9d>
- מאירי ע, יאיר א וגינת ח. 2021. השפעת תכונות פני השטח על יחסי גשם-נגר במדבר צחיח קיצון בגשם טבעי. **מחקרי הנגב, ים המלח והערבה** 13, 15–29.
- פלד י. 1988. **תמותת עצי השיטה בערבה הדרומית** (עבודה לקבלת תואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- רון צ. 1979. המבנה הגאומורפולוגי של הערבה. בתוך: שמואלי א וגרודס י (עורכים). **ארץ הנגב אדם ומדבר**, 140–163.
- שיפריין ת. 2021. **אפיון גנטי ופנולוגי של אוכלוסיית עצי השיטה החשודים כמכלואים בנחל שיטה** (עבודה לקבלת תואר מוסמך). מנהל המחקר החקלאי-מרכז וולקני.

- Shrestha MK, Stock WD, Ward D, and Golan-Goldhirsh A. 2003. Water status of isolated Negev desert populations of *Acacia raddiana* with different mortality levels. *Plant Ecology*, 168, 297–307.
- Stavi I, Silver M, and Avni Y. 2014. Latitude, basin size, and microhabitat effects on the viability of *Acacia* trees in the Negev and Arava, Israel. *Catena*, 114, 149–156.
- Stavi I, Shem-Tov R, Shlomi Y, Bel G, and Yizhaq H. 2015. Recruitment and decay rate of *Acacia* seedlings in the hyper-arid Arava Valley, Israel. *Catena*, 131, 14–21.
- Stavi I, Shem-Tov R, Gourjon E, Ragolski G, Shlomi Y, and Ginat H. 2016. Effects of 'red unit' deposit on *Acacia* trees in the hyper-arid southern Israel. *Catena*, 145, 316–320.
- Uni D, Sheffer E, Winters G, Lima AC, Fox H, and Klein T. 2022. Peak photosynthesis at summer midday in *Acacia* trees growing in a hyper arid habitat. *Trees*, 37, 255–267.
- Winters G, Ryvkin I, Rudkov T, Moreno Z, and Furman A. 2015. Mapping underground layers in the super arid Gidron Wadi using electrical resistivity tomography (ERT). *Journal of Arid Environments*, 121, 79–83.
- Winters G, Otieno D, Cohen S, Bogner C, Ragowloski G, Paudel I, and Klein T. 2018. Tree growth and water-use in hyper-arid *Acacia* occurs during the hottest and driest season. *Oecologia*, 188, 695–705.
- Yair A, Meiri E, and Ginat H. 2021. Spatial variability of runoff generation in a hyper arid area. *Journal of Hydrogeology and Hydrologic Engineering*, 10, 3.
- Yair A and Raz-Yassif N. 2004. Hydrological processes in a small arid catchment: Scale effects of rainfall and slope length. *Geomorphology*, 61, 155–169.
- Dean WRJ, Milton SJ, and Jeltsch F. 1999. Large trees, fertile islands, and birds in arid savanna. *Journal of Arid Environments*, 41, 61–78.
- Ginat H, Zilberman E, and Amit R. 2002. Red sedimentary units as indicators of Early Pleistocene tectonic activity in the southern Negev desert, Israel. *Geomorphology*, 45, 127–146.
- Goslar T, Andersen G, Krzywinski K, and Czernik J. 2013. Radiocarbon determination of past growth rates of living *Acacia*. In: Jull AJT and Hatté C (Eds). *Proceedings of the 21st International Radiocarbon Conference*, pp. 1683–1692.
- Hackett TD, Korine C, and Holderied MW. 2013. The Importance of *Acacia* trees for insectivorous bats and arthropods in the Arava desert. *PLoS ONE*, 8, 1–10.
- Isaacson S, Ephrath JE, Rachmilevitch S, Maman S, Ginat H, and Blumberg DG. 2017. Long and short term population dynamics of acacia trees via remote sensing and spatial analysis: Case study in the southern Negev Desert. *Remote Sensing of Environment*, 198, 95–104.
- Kampf SK, Faulconer J, Shaw JR, Sutfin NA, and Cooper DJ. 2016. Rain and channel flow supplements to subsurface water beneath hyper-arid ephemeral stream channels. *Journal of Hydrology*, 536, 524–533.
- Kampf SK, Faulconer J, Shaw JR, Lefsky M, Wagenbrenner JW, and Cooper DJ. 2018. Rainfall thresholds for flow generation in desert Ephemeral streams. *Water Resources Research*, 54, 9935–9950.
- Lahav-Ginott S, Kadmon R, and Gersani M. 2001. Evaluating the viability of *Acacia* populations in the Negev Desert: A remote sensing approach. *Biological Conservation*, 98, 127–137.
- Schwartz U. 2016. Factors affecting channel infiltration of floodwaters in Nahal Zin basin, Negev desert, Israel. *Hydrological Processes*, 30, 3704–3716.
- Sher AA, Wiegand K, and Ward D. 2010. Do *Acacia* and *Tamarix* trees compete for water in the Negev desert? *Journal of Arid Environments*, 74, 338–343.



מבט מדרום על נחל שיטה, אפריל 2023. בערוץ הראשי עצי שיטה. ערוצי המשנה בדגם פזרות, ללא עצים, מתנקזים לערוץ הראשי. בבסיס התמונה משטחי רג. באופק גבעות גיר וצור. צילום באמצעות רחפן: רחלי ארמוזה-זבולוני