

אפיון הידרופדולוגי של מדרונות בשני אגני היקוות חקלאיים סמי ארידיים: הגדי ושמריה בצפון הנגב בישראל

נפתלי גולדשלגר¹, רועי אגוזי¹ ויוסי שחר²

¹ התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות

² האוניברסיטה העברית בירושלים

מושגים

פדולוגיה – חקר האדמה, תחום מחקר מדעי העוסק בלימוד קרקעות, היווצרותן והתפתחותן.
קלציום – אופקים עם תכולת גיר גבוהה.
קולוביום – שכבת בלית בלתי יציבה המכסה מדרונות.
ליתוסול – קרקע המתאפיינת באופק עליון המונח על סלע חשוף. המרקם שלה גס, מחשוף סלע רבים ומכילה גיר.
סדימנטים קלסטיים – תת-קבוצה בסלעי משקע, המורכבת משברי סלעים אחרים.

תקציר

הבנת הקשר בין המאפיינים הפדולוגיים והטופוגרפיים של המדרונות החקלאיים בצפון-מערב הנגב לבין משטר המים ותהליכי היווצרות הנגר העילי, עשויה לסייע בפיתוח החקלאות וייעוד השטחים לגידולים מתאימים. בחנו קשר זה באגני היקוות קטנים, שבהם מצויים מדרונות מעובדים, המאפיינים את אזור גבעות הלס של צפון-מערב הנגב. נמצאה התאמה חיובית בין השינויים בהרכב המכני, קרי התפלגות גודל חלקיקי הקרקע לאורך המדרונות, לבין תכולת המלחים בקרקע. בראש המדרון נמצאו אחוזי החרסית והמלחים הגבוהים ביותר וערכי חול נמוכים; אחוזי חול גבוהים נמצאו במרכז המדרון. ממצאים אלה מוסברים על ידי שילוב של תאחיזת מים גבוהה ושיעורי התאדות גבוהים מהקרקע. יתר על כן, מדידות תכולת הרטיבות בערכים נמוכים מערכי קיבול השדה לאורך המדרון מצביעות על חידור של מי הגשם למרות הקרום הפיסיקלי שנוצר בגלל מכת טיפת הגשם. כלומר, גם אם נוצר נגר עילי בחלקים שונים של המדרון הוא אינו זורם ברצף לאורך המדרון ונספג בקרקע. המסקנה המתקבלת היא, שקיים קיטוע הידרו-גיאומורפולוגי במדרון ובין המדרון לאפיק.

מילות מפתח: קטאנה, הידרופדולוגיה, נגר, לס, הידרולוגיה.

מבוא

שרשרת קרקעות במדרון (Catena) מוגדרת כ"שורה של קרקעות ממוצא אחיד, השונות זו מזו בתכונותיהן עקב השיפוע ותנאי ניקוז שונים" (דן, פיין ולביא, 2007). יצירת שרשרת קרקעות (קטאנה) תלויה בשני גורמים עיקריים: (1) אספקה/אי-אספקה של חומר קרקעי; (2) המשטר ההידרולוגי לאורך המדרון. הגורם הראשון מתייחס להסעה של חומר ממעלה המדרון למורד, כך שלאורך זמן מתקבלים שינויים בעובי ובהרכב המכני של הקרקעות לאורך המדרון (ארזי, 1982). הגורם השני מתייחס לחידור המים לקרקע ולזרימתם כנגר עילי, כך שבמעלה המדרון תנאי השטיפה של הקרקעות שונים מתנאי השטיפה של הקרקעות במורד המדרון (Sommer & Schlichting, 1997; Wieder & Yaalon, 1985). לאורך זמן, אם תנאי השטיפה מוגבלים במעלה ביחס למורד המדרון, הרי שתהליך זה עשוי לגרום להצטברות מלחים בחלק העליון של המדרון. מכאן, שסוג המלחים וריכוזם בקרקע עשויים להעיד על תנאי השטיפה של הקרקע. סדר המסיסות הוא מלח בישול-גבס-גיר ולכן באזורים שבהם השטיפה מוגבלת יתפתחו אופקי גבס (Bgyp), ובאזורים שבהם השטיפה רבה יותר יתפתחו אופקים גירניים (Bca), כאשר המלח והגבס נשטפים מטה. באזורים שטופים פחות, הגיר לא יישטף ונקבל אופק גבס מתחתני; באזורים צחיחים נקבל אופק מלח, כלומר עשויה להיות השקעה סלקטיבית של מלחים (ארזי, 1982; Dan & Yaalon, 1982). לעומת זאת, באזורים צחיחים עשוי להימצא דגם אחר של שרשרת קרקעות (Yair, 1990), שבו בקולוביום שבמעלה המדרון מתפתחים אופקים שטופים יותר מאשר בקרקעות הקולוביום שבמורד, שהן מליחות יותר. לתופעה זו קיימות גם עדויות בוטניות וזואולוגיות, המחזקות את הימצאותה של שרשרת קרקעות חריגות באזורים אלו. העדויות הן טיפוסי צומח ובעלי חיים המתאימים למליחות ויובשניות הקרקע. במקומות שבהם המים מתרכזים וחדרים לקרקע (כסי קרקע וקרקעית הערוצים) צומחים בני-שיח מדבריים וצמחים חד-

שנתיים מהירי צמיחה (Yair, 1987). השוני הזה הוסבר על ידי שני רכיבים: (1) תכונות פני השטח; (2) שונות במאפייני הגשם. הרכיב הראשון מתייחס ליחס קרקע/סלע – סף הגשם הנדרש ליצירת נגר באזורים סלעיים הוא נמוך יחסית, כך שגם בסופות בעלות עוצמת גשם נמוכה נוצר נגר עילי (Yair & Lavee, 1985). הרכיב השני מוסבר על ידי אופי הגשם – באזורים ים-תיכוניים הגשם רציף ורב יותר מאשר באזורים צחיחים, שבהם עוצמות הגשם יכולות להיות גבוהות, אולם משך הגשם קצר מאוד (לביא, 1981; Yair & Yair, 1987; Lavee, 1985; Yair & Kossovsky, 2002)

המחקר המדווח כאן עוסק בשאלה – האם בגבעות הלס של צפון-מערב הנגב מתקיימת שרשרת קרקעות (קלאסית) או שרשרת קרקעות מדבריות בעלות אופי שונה? מענה על השאלה עשוי להכתיב את ממשק הגידול בשטחים החקלאיים (סוג הגידול, אופי העיבוד של הקרקע וכדומה). מטרת העבודה הנוכחית היא ללמוד ולהבין את תכונות הקרקע כתלות במשטר המים לאורך המדרון, באזורים צחיחים-למחצה, ואת השפעתם על ההתנהגות ההידרולוגית של מדרונות הלס בצפון הנגב.

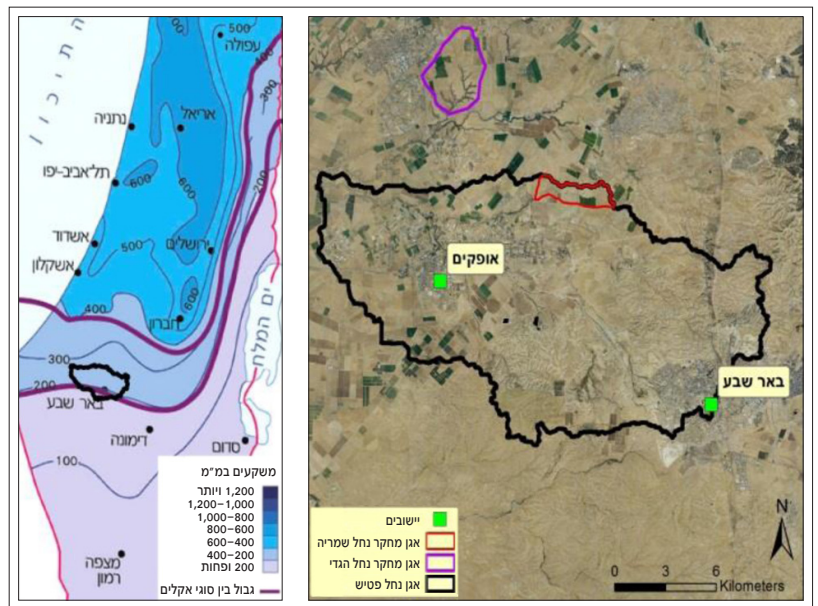
אתרי המחקר

המחקר בוצע בשני אגני היקוות חקלאיים קטנים של נחל הגדי ונחל שמריה (איור 1א), באזור גבעות הלס של צפון-מערב הנגב. הבחירה בשני אגני היקוות אלה נעשתה מכיוון שלדעתנו הם מייצגים את השטחים החקלאיים בגבעות הלס של צפון-מערב הנגב. למרות הדמיון בין שני האגנים במספר מאפיינים (ראו טבלה), הרי שבאגן הגדי, ששטחו כ-11 קמ"ר, נמדדו מספר רב יותר של גאוויות ביחס לאגן היקוות של נחל שמריה, ששטחו התורם גדול יותר כ-27 קמ"ר (המחקר הנוכחי מתמקד בסעיף של נחל שמריה, המנקז כ-5 קמ"ר בלבד). לדוגמה, בין השנים 1998-1994 נמדדו באגן הגדי 14 גאוויות ואילו באגן השמריה נמדדו 4 גאוויות בלבד, ובשנה ההידרולוגית 2014/15 נמדדו 10 גאוויות בהגדי ו-4 גאוויות בשמריה (מתייחס למדידות בתחנה הידרומטרית, שלה שטח תורם של 5 קמ"ר).

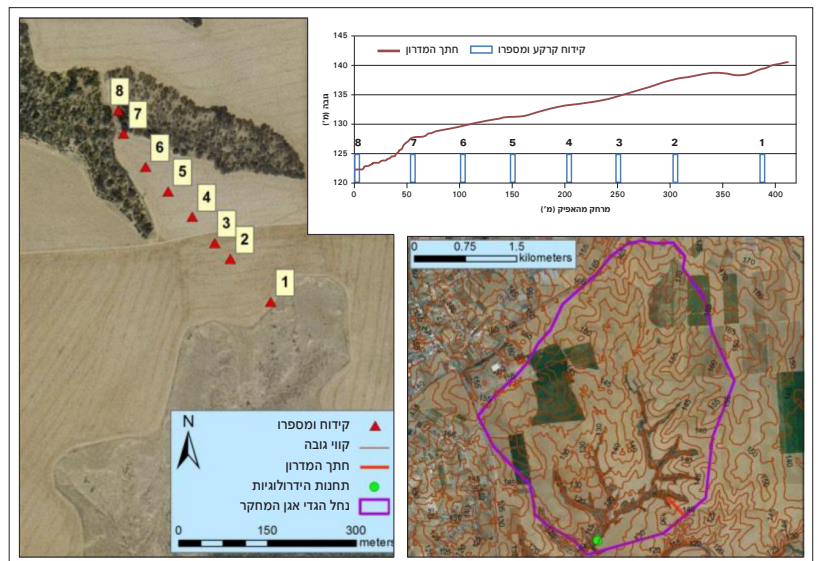
מדרון נחל הגדי גובל בחלקו הצפוני של אגן נחל פטיש, שבצפון הנגב (איור 1א). גובה האזור נע בין גבהים של 140-130 מ' מעל פני הים. פנות המדרון צפון-מערבית ואורכו כ-400 מ', עם שיפוע ממוצע של 4% (איור 1ב). באמצעות בדיקות מעבדה נמצא, כי הקרקע השולטת באזור היא לס חולי-סייני-חרסיתי ולס סייני-חרסיתי, זאת על בסיס בדיקות מעבדה של הרכב מכני שביצענו. על המדרון מצויים גידולי בעל של חיטה. חלקו של המדרון הסמוך לאפיק מתאפיין בטופוגרפיה תלולה יותר ושיפוע ממוצע של כ-8%. בחלקו התחתון של המדרון אובחנו תהליכי נסיגה פעילים של

מאפיין	הגדי	שמריה
שטח אגן היקוות (קמ"ר)	11.7	5
שימושי קרקע חקלאי (%)	86	95
עובי גשם ממוצע רב-שנתי (מ"מ)*	230	230
צפיפות ניקוז (קמ"ר/קמ"ר)	2	2
שיפוע אפיק ראשי (מ/מ)	0.009	0.011
אורך אפיק ראשי (ק"מ)	4.8	4

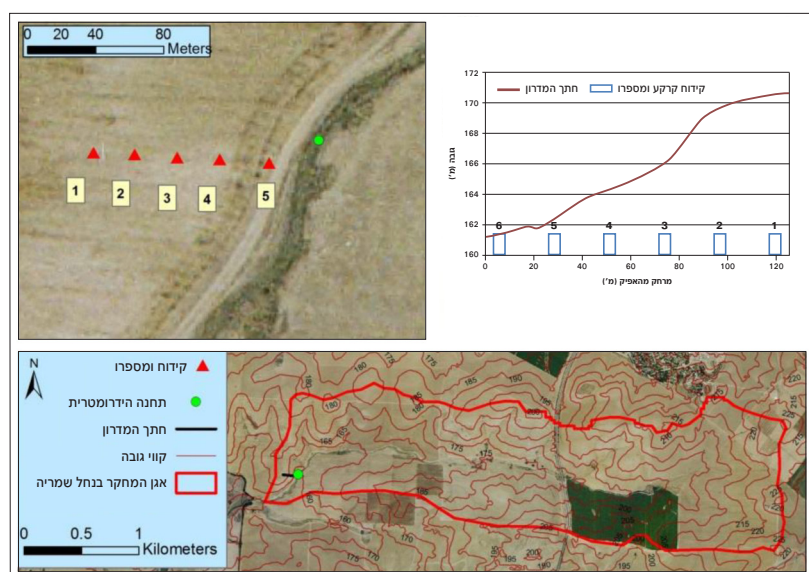
טבלה: מאפיינים עיקריים של אגני היקוות הגדי ושמריה. נתוני הגשם מתייחסים לתחנת גילת הסמוכה לשני אתרי המחקר.



איור 1א: מפת תיחום (מימין) ומפת משקעים, אגני הגדי ושמריה.



איור 1ב: מדרון נחל הגדי.



איור 2: מדרון נחל שמריה.

הקרקע בוצע במרווחים של 20 ס"מ מפני הקרקע. דוגמאות הקרקע הועברו למעבדת שירות שדה בנווה יער, לצורך בדיקות של הרכב מכני (אחוז חול, סילט וחרסית) וכימיה: יוני גופרה, נתרן, כלוריד, מוליכות חשמלית (Electric Conductivity; EC), המבטאת את מליחות הקרקע ואת מנת ספיחת נתרן בתמיסת הקרקע במיצי עיסה רוויה, כולל מדידת Ca (Sodium Adsorption Ratio; SAR). ההנחה היא, שהשינויים הכימיים והפיזיקליים נבעו מהשינויים בזרימת המים בקרקע ובתת הקרקע ויאפשרו להסביר את שינויי המליחות והמוליכות החשמלית לאורך החתך.

דיגום לחות הקרקע: במהלך תקופת הדיגום (2011-2012) נלקחו דוגמאות קרקע עד עומק חזית ההרטבה במרווחים אנכיים של 20 ס"מ ובהן נקבעה הרטיבות המשקלית בקרקע לאחר ייבושה ב-105 מ"צ. פעולה זו בוצעה מספר פעמים במשך עונת הגשמים בשנה ההידרולוגית 2011/12.

תוצאות

הרכב מכני במדרון הגדי

ההרכב המכני של דוגמאות הקרקע במדרון הגדי תואר באמצעות משולש המרקם. על פי המרקם, ניתן לקבץ את דוגמאות הקרקע שנאספו לשתי קבוצות של קרקעות: לס חולי-סייני-חרסיתי ולס סייני-חרסיתי. הקרקע במדרון נבחנה בשני ממדים: בממד האנכי ובממד האופקי. באמצעות ניתוח של דוגמאות הקרקע, בהתאם לפרופיל העומק באגן הגדי, נמצא שקרקעות סייניות-חרסיתיות אופייניות לאופקים עמוקים יותר, כלומר נמצאה עלייה באחוזי החרסית כלפי העומק במספר רב של קידוחים מתחת לשכבת החריש (איורים 3א ו-3ג). מגמה זו בולטת בקידוח 1 שבמעלה המדרון,

ראשי ערוצים, המאפיינים את אזור פשט ההצפה של ערוץ נחל הגדי. ביחידה התחתונה של המדרון קיימת חגורת יער נטע אדם של מיני עצי איקליפטוס ואורנים.

מדרון נחל שמריה ממוקם בחלקו הצפוני של אגן נחל פטיש (איור 1א). גובה האזור נע בין 160-170 מ' מעל פני הים. אורך המדרון מהמעלה למורד הוא כ-200 מ', עם שיפוע של כ-6% במפנה דרום-מזרחי (איור 2). נחל שמריה חתור בחלקו המזרחי בסדימנטים הקלסטיים ובחלוקים הנמצאים על גבי הסלע האיאווקני. ישנו ריכוז גדול של חלוקי נחל בגודל של בין 10-15 ס"מ בחלקו העליון של המדרון. המדרון מאופיין בקרקעות לס, השיפועים באזור זה מגיעים עד ל-10%. הגידול העיקרי במדרונות הוא של חיטה זרועה. בתחתית האפיק קיימת לחות קבועה במשך כל השנה, ככל הנראה ממי תהום גבוהים.

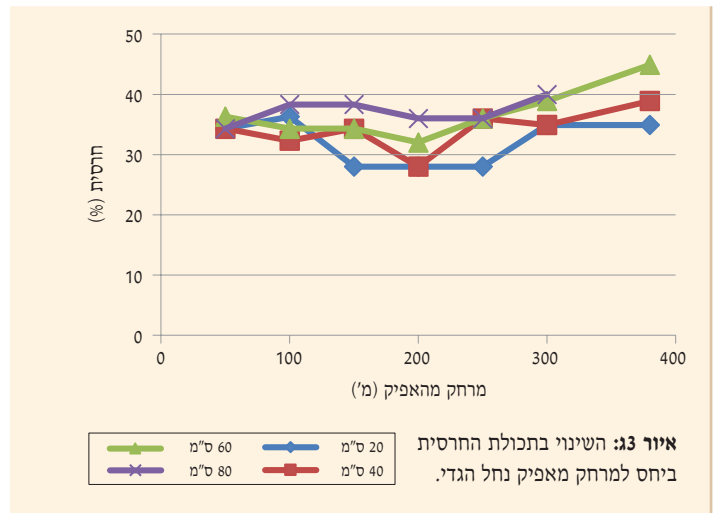
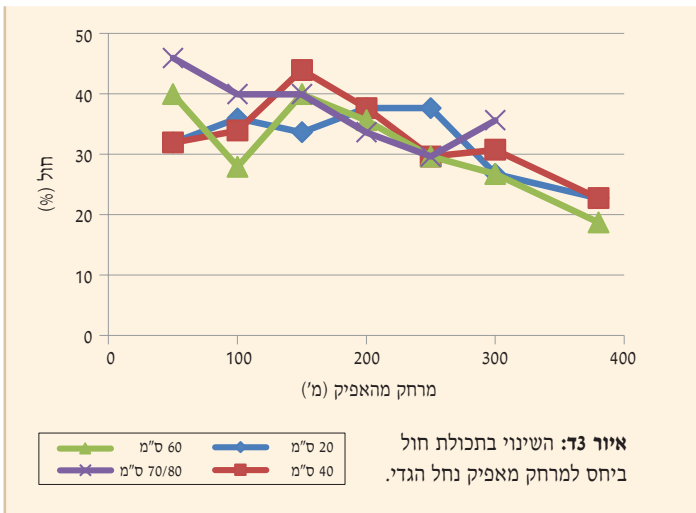
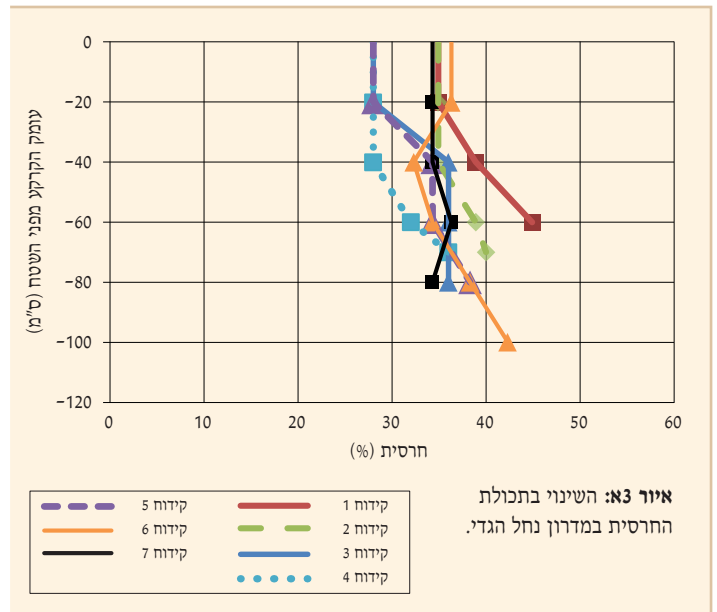
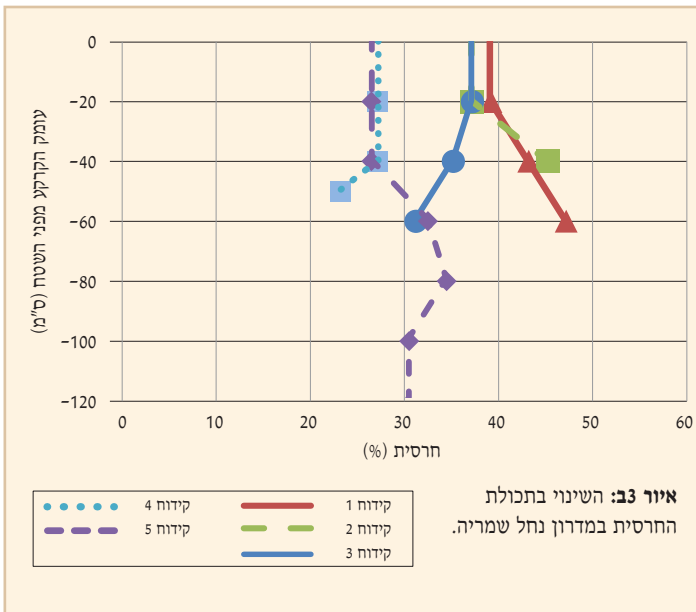
שיטות העבודה

לצורך מענה על שאלת המחקר נדרשים נתונים על אודות המשטר ההידרולוגי ויחסי נגר-גשם על גבי המדרונות באזורים אלה, המושגים באמצעות מדידות ישירות וניסויי מטרה. אולם תצפיות ומדידות בזמן אמת של תהליכי היווצרות נגר עילי ושל קצב שטיפת הקרקעות קשים לביצוע, מכיוון שבאזורים צחיחים וצחיחים-למחצה, משך הגשם קצר מאוד וקישוריות הידרולוגית מתקיימת רק בסופות קיצוניות (לביא, 1981; Yair & Kossovsky, 2002). אחת האפשרויות להתמודד עם מורכבות זו היא לנתח את מאפייני הקרקע של המדרון כביטוי להשפעת משטר המים לאורכו, כיוון שתהליכי היווצרות הקרקע (פדוגינזה) תלויים בקישוריות ההידרולוגית, כלומר, במידת הרציפות בין מעלה המדרון למורד, המאפשרת זרימת נגר עילי לאורך המדרון.

עבודת המחקר נערכה במספר שלבים ובשילוב של שיטות שדה, מעבדה ומיפוי באמצעות מערכת מידע גיאוגרפית (ממ"ג) וחישה מרחוק. בשלב הראשון הוגדרו ואופיינו שטחי המחקר והאגנים והותקנו תחנות הידרומטריות במורד האגנים. בשלב השני, נעשה איסוף הנתונים ובוצע ניתוח שכבות המידע הקיימות בממ"ג. בשלב השלישי, הנתונים עובדו ונותחו בצורה פרטנית עבור כל מדרון ונערכה השוואה בין המדרונות.

מיפוי: מדידת הגבהים לאורך המדרון באגנים הגדי ושמריה (איורים 1א, 1ב ו-2 בהתאמה) נעשתה באמצעות GPS דיפרנציאלי של חברת Trimble. בכל מדרון נלקחו נקודות במרווחים אופקיים של כ-10 מ' אחת מהשנייה והועלו על תוכנת Excel, ומהן חושב פרופיל המדרון.

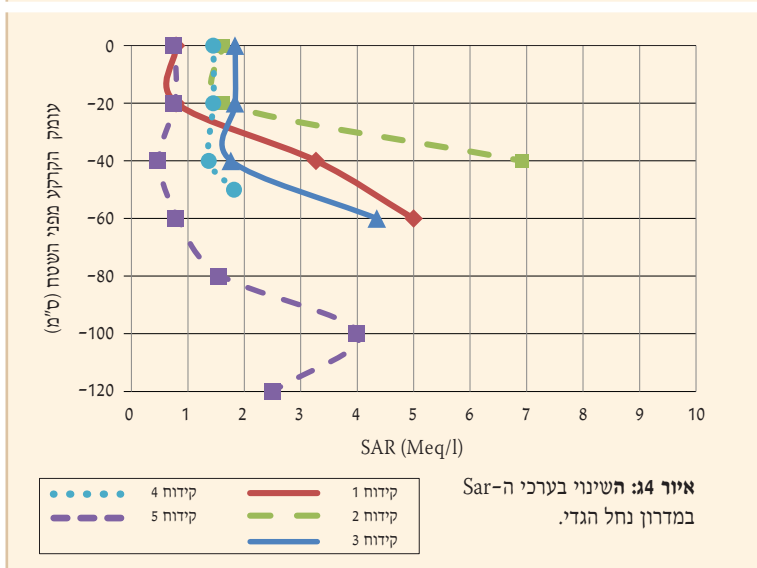
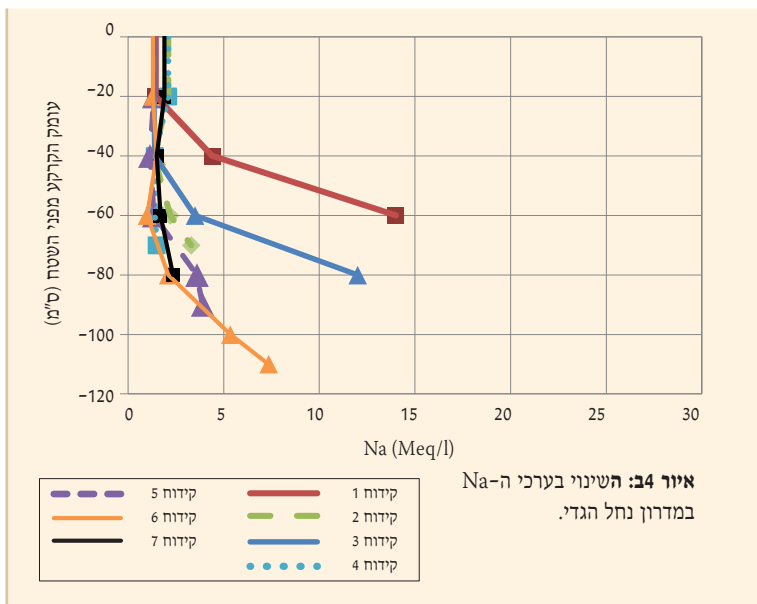
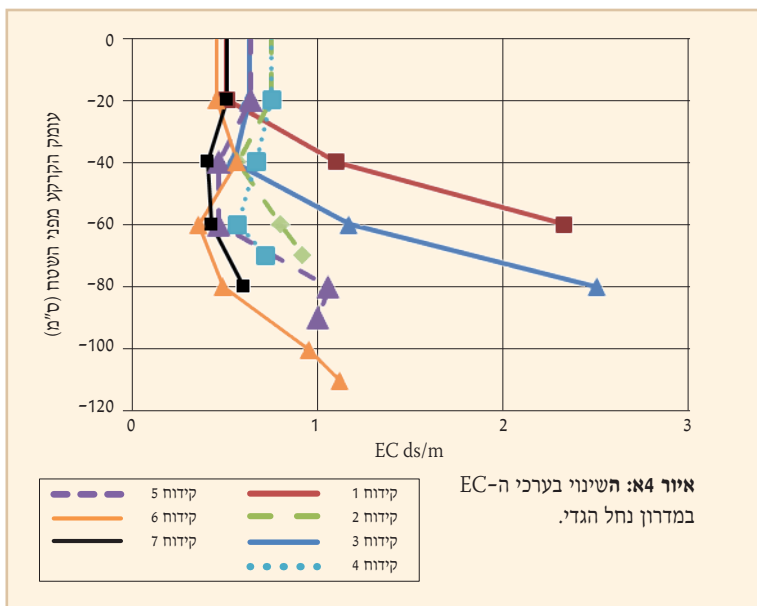
דיגום הקרקע: דיגומי קרקע בוצעו לאורך המדרון במספר נקודות במרווחים אופקיים בין 20 ל-30 מ'. הדיגום בעומק



בקידוח 1 נמצאו הערכים הגבוהים ביותר של סילט מבין כל הקידוחים, בדומה לערכי תכולת החרסית (42% בעומק 60 ס"מ). בקידוחים 3, 4 נמצא שינוי מועט כלפי העומק, מגמה שנמשכת עד עומק של 80 ס"מ. בקידוח 6 נמצאה עלייה עד עומק של 60 ס"מ ואחר כך ירידה, ושוב עלייה החל מעומק של 80 ס"מ עד לעומק של 110 ס"מ. בעומק של 60 ס"מ קידוחי המעלה (1-4) מתכנסים לערכים דומים, ובעומק של 80 ס"מ קידוחי המורד (5-7) מתכנסים לערכים נמוכים ודומים - אלו גם הערכים הנמוכים של הסילט מבין כל הקידוחים בעומק זה. המגמה הכללית של השינויים באחוזי הסילט בקידוחים מצביעה על היחס הבא: $1 < 2 < 3 < 4 < 6 < 5$, כלומר ראש המדרון (קידוחים 1 ו-2) עשיר בסילט ביחס לשאר חלקי המדרון.

המקטע החולי משלים את ההרכב המכני של הקרקעות עם ירידה באחוזי החול כלפי העומק (עד לעומק של 60 ס"מ): בקידוחים 1, 2, 3, 6. בקידוח 1 שבמעלה המדרון נמצאו

(למיקום הקידוחים ראה איור 1ב) שבו נמצא שינוי בולט בין פני השטח עם 36% תכולת חרסית עד לעומק של 60 ס"מ, שבו תכולת החרסית מגיעה לערך של 45%. ברוב הקידוחים העלייה כלפי העומק בתכולת החרסית מתונה יותר מאשר קידוח 1. בקידוח 6, המגמה של העלייה כלפי העומק ממשיכה עד עומק של 110 ס"מ, ובקידוח 7 (המייצג את האפיק) לא נמצא שינוי בתכולת אחוז החרסית במרבית הקידוחים, למעט קידוחים 1, 2 בראש המדרון, שבהם נמצאו ערכים גבוהים יותר בעומק זה בהשוואה לשאר הקידוחים. המגמה הכללית של השינויים באחוזי החרסית בין הקידוחים מבוטאת ביחס הבא: $1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7 < 8$ (איור 3ג). כלומר, ראש המדרון עשיר בחרסית ביחס למורד המדרון, ואמצע המדרון מאופיין בתכולת אחוז חרסית הנמוכה ביותר. המקטע הסילטי במדרון הגדי מאופיין במגמה של ירידה בתכולת הסילט באחוזים כלפי העומק ולאורך פרופיל המדרון בקידוחים 1, 2, 5, 7.



הערכים הנמוכים ביותר של תכולת החול, בהשוואה ליתר הקידוחים, עם 18% בלבד בעומק של 60 ס"מ מפני השטח. במספר קידוחים (2, 6), החל מעומק של 60 ס"מ עד לעומק של 80 ס"מ, נמצאה עלייה כלפי העומק. בקידוח 7 העלייה מתחילה בעומק של 20 ס"מ. בקידוח 4 אין שינוי כלפי העומק. בעומק של 60-80 ס"מ, קידוחי המורד (5-7) מתכנסים לערכים גבוהים ודומים – אלו הערכים הגבוהים ביותר מבין כל הקידוחים בעומק זה (40%). בקידוח 6, החל מעומק של 80 ס"מ, יש ירידה כלפי העומק עד לעומק של 110 ס"מ. המגמה הכללית של השינוי באחוזי החול לאורך פרופיל המדרון היא: $5 < 4 < 7 < 6 < 3 < 2 < 1$, כלומר, חלקו האמצעי של המדרון הוא החולי ביותר ומעלה המדרון מאופיין באחוז הנמוך ביותר של מרקם חולי (איור 4ד).

ההרכב המכני במדרון שמריה

ההרכב המכני של מדרון שמריה מתייחס למקטעי הגודל < 2 מ"מ, כלומר, ללא התייחסות לחלוקי הנחל הנמצאים בקרקע המדרון ומאפיינים אותה (ראה בתיאור אתר המחקר). תוצאות ניתוח ההרכב המכני מצביעות על אופי אחיד יותר של דוגמאות הקרקע של סיי-חרסיתי. עם זאת, נמצא הבדל ניכר בין תכולת החרסית בקרקע בקידוחים שנעשו במעלה המדרון לאלו שבמורד (איור 5ב): בדומה למגמה במורד הגדי, ריכוז החרסית הגבוה ביותר הוא במעלה המורד. המגמה הכללית של השינוי בתכולת החרסית בין הקידוחים הוא: $1 < 2 < 3 < 4 < 5$.

המגמה הכללית של אחוזי הסילט בין הקידוחים מצביעה על הכיוון הבא: $3 < 2 < 1 < 4 < 5$, כלומר בדומה למדרון הגדי, מעלה מדרון השמריה עשיר בסילט ביחס לשאר חלקי המדרון, עם ירידה בתכולת הסילט לכיוון תחתית המדרון.

הבדל ניכר נמצא במרקם החולי בדוגמאות הקרקע של קידוחי המעלה (1-3) לאלו שבמורד המדרון: הקידוחים במעלה הם עם אחוזי חול הנמוכים יותר (26%) מאלו שבמורד (4-5), ומגיעים לערכים של 50% בעומק של 40 ס"מ. חלקו האמצעי של המדרון הוא החולי ביותר ובדומה למדרון הגדי, מעלה המדרון מאופיין באחוז הנמוך ביותר של מרקם חולי.

כימיה של הקרקע

נתונים כימיים, שהתקבלו עבור מדרון הגדי, מוצגים באיור 4 (א-ג). הערכים הגבוהים ביותר נמצאו בחלק העליון של המדרון, אשר עשיר בחרסית. ערכים נמוכים יותר נמצאו בקידוח 2. לא נמצאו שינויים מהותיים לאורך המדרון עם עומק על פני מרחק של 200 מ'. באגן הגדי, מתחת לשכבת החריש, החל מעומק של 20 ס"מ נמצאה עלייה בערכי ה-EC עם העומק בקידוחים במעלה המדרון (1, 3) עד 2.5 ds/m.

מגמות אלו נמשכות עד לעומק של 60 ס"מ ובקידוח 5 עד לעומק של 110 ס"מ והן תואמות במידה מסוימת את מגמת ה-EC.

בסך הכול, שטיפת הגבס בקידוחי המעלה מבחינת ממדיה קטנה משטיפת הנתרן.

בבדיקות הכימיות נמצאה שונות בין מעלה המדרון לשאר חלקיו בשני המדרונות: הערכים הכימיים הגבוהים ביותר נמצאו בעומק הקידוחים במעלה המדרון והם דועכים כלפי המורד. שילוב תוצאות ה-EC והנתרן מצביע על התאמה בין המשתנים העיקריים אשר מכתבים את העלייה בערכי ה-EC בהשוואה לערכי ה- $R^2=0.9081$ Na, (שחר, 2014). בנחל שמריה אין מספיק תצפיות כדי להסיק מובהקות סטטיסטית, אולם התוצאות הן עם אותן מגמה: ההתאמה הטובה ביותר נמצאה עבור ה-Na (שחר, 2014).

גשם

אתרי המחקר נמצאים באגן הפטיש, שבו כמות המשקעים השנתית הממוצעת מגיעה ל-230 מ"מ (איור 1א).

נתוני הגשם במהלך המחקר נלקחו מתחנת גילת, הנמצאת במרחק של כ-6 ק"מ מנחל הגדי, ולה בסיס נתונים הקרוב יותר לאתרי המדידה.

במהלך עונת הגשם 2011/12 ירדה כמות משקעים של 265.1 מ"מ. אירוע הגשם הגדול ביותר היה בין 7/11/11-4 עם כמות גשם של 50 מ"מ (איורים 5א ו-5ב). במהלך עונת הגשם 2012/13 ירדה כמות משקעים של 205 מ"מ – מתחת לממוצע הרב-שנתי (איור 1א). במהלך שנה זאת היו 10 אירועים עם עובי גשם מעל 10 מ"מ.

לחות הקרקע באגן נחל הגדי

טווח הערכים הכללי של לחות הקרקע באגן הגדי ובאגן שמריה בשנות הדיגום נמצא בין 3-25%. ערך הלחות הגבוה ביותר (27%) התקבל בקידוח 7 באפיק הגדי, לאחר אירוע הגשם המשמעותי ביותר במשך העונה (איור 6 מתייחס לעומק של 20 ס"מ), הן מבחינת כמות הגשם, משך הסופה ועוצמת הגשם המרבית בעונה (איורים 5א ו-5ב). ניתן להבחין, כי בנחל הגדי במעלה המדרון ערכי הלחות נמצאו בטווח רחב של ערכים 3-25%, בעוד שהערכים במורד הטווח מצומצמים יותר ונעים בין 5-19%. נמצא כי ערכי הלחות יורדים גם כפונקציה של העומק: אחוזי הלחות יורדים מערך מרבי של 25% בעומק של 10 ס"מ בחלקו העליון של המורד לערך נמוך של 11% בעומק של 50 ס"מ מפני הקרקע. ניתן להבחין כי ערכי הרטיבות לא משתנים כפונקציה של המרחק מן האפיק. בנחל שמריה טווח הערכים הכללי של הלחות לכל העונה לאורך המדרון (לא כולל האפיק) הוא פחות מ-25%

בקידוחים במורד המדרון (4-7), עד עומק של 60 ס"מ לא נמצא שינוי בערכי ה-EC. הכיוון הכללי של השינוי ב-EC בין הקידוחים לעומק (החל מעומק 20 ס"מ) מצביע על המגמה הבאה: $1 < 3 < 2 < 4 < 5 < 6 < 7$ (איור 4א).

קיימת התאמה בין ה-EC להרכב המכני במיקומים שונים (שחר, 2014).

בנחל שמריה נמצאה מגמה דומה, עלייה בערכי ה-EC כלפי העומק בקידוחי המעלה (1, 3) עד 4 dS/m מעומק של 20 ס"מ. הערך הגבוה ביותר של ערכי ה-EC נמצא בקידוח 2 בעומק 40 ס"מ. בקידוחי המורד (4-5) אין כמעט שינוי במגמה כלפי העומק. מגמה זו נשמרת עד לעומק של 110 ס"מ בקידוח 5, המגיע ל-1 dS/m.

נראה, אם כן, שנוסף לכך שהמליחות יורדת לאורך המדרון, במעלה המדרון – בשני מקומות בחלק העליון של המדרון – נוצר אופק מלח החל מעומק של 40 ס"מ.

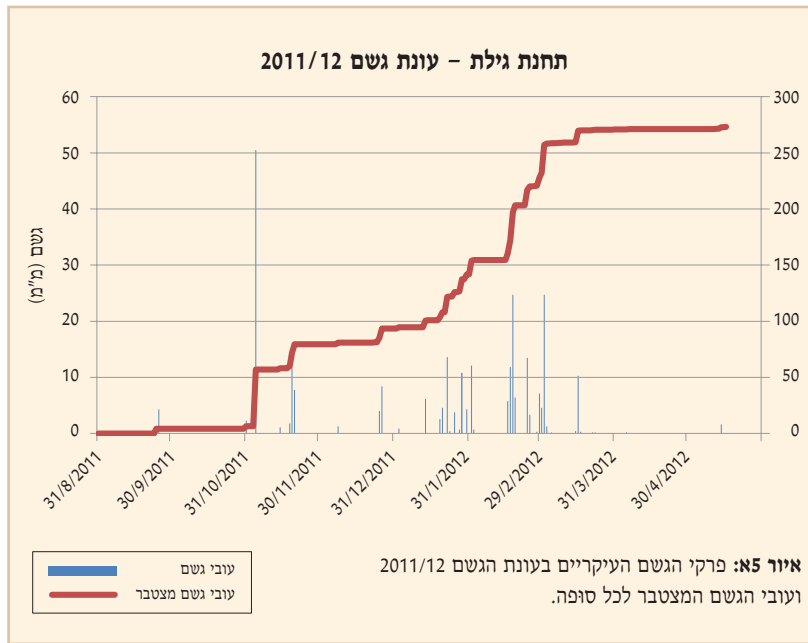
בנחל הגדי נמצאה עלייה חדה בערכי ה-Na כלפי העומק בקידוחי המעלה (1, 3), החל מעומק של 20 ס"מ. בקידוחי המורד (4-7) עד עומק של 60 ס"מ אין שינוי במגמה כלפי העומק, אך החל מעומק של 60 ס"מ נמצאה עלייה מתונה כלפי העומק בערכי ה-Na. מגמות אלו נשמרות עד עומק של 80 ס"מ, ובקידוח 6 עד עומק של 110 ס"מ (איור 4ב).

בנחל שמריה נמצאה עלייה חדה בערכי ה-Na כלפי העומק בקידוחי המעלה (1, 2), החל מעומק של 20 ס"מ. קידוח 2 הוא עם תכולת הנתרן הגבוהה ביותר בעומק 40 ס"מ. בקידוחי המורד (3-5) אין כמעט שינוי במגמה כלפי העומק. מגמות אלו נמשכות עד לעומק של 60 ס"מ ובקידוח 5 עד לעומק של 110 ס"מ, ותואמות את מגמת ה-EC לעיל.

בחתכי הגדי והשמריה ערכי ה-SAR (ביטוי לנתרניות הקרקע) נמצאים במגמת עלייה, החל מערכים של 2 בבסיס המדרון עד לערכים של 6 במעלה המדרון, בעומק של 60 ס"מ ויותר (שחר, 2014). העלייה בערכי ה-SAR בראש המדרון מרמזת על שטיפה מוגבלת באזור זה (איור 4ג).

נמצא דמיון בין גרף ה-Na בנחל הגדי לגרף ה-SAR בנחלי הגדי והשמריה, המאפשר לנו לעקוב אחרי הקשר בין Na ל-SAR, שהוא מדד חשוב ביותר מבחינת ניתרון הקרקע. בנחל הגדי, תכולת ה-SO₄ בקידוח 1 נמצאה במגמת עלייה, החל מעומק של 20 ס"מ. בשאר הקידוחים אין שינוי במגמה של תכולת ערכי ה-SO₄ לכיוון העומק והערכים נשארים דומים. מגמות אלו נמשכות עד עומק של 80 ס"מ, ובקידוח 6 עד עומק של 110 ס"מ והן תואמות במידה חלקית את מגמת ה-EC (בקידוח 1 בלבד).

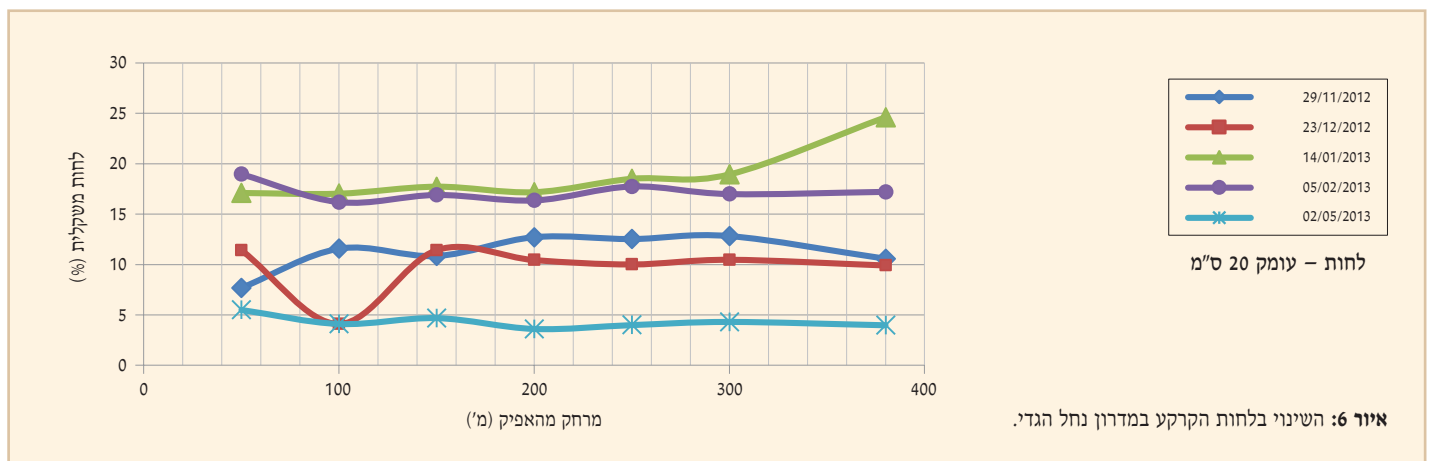
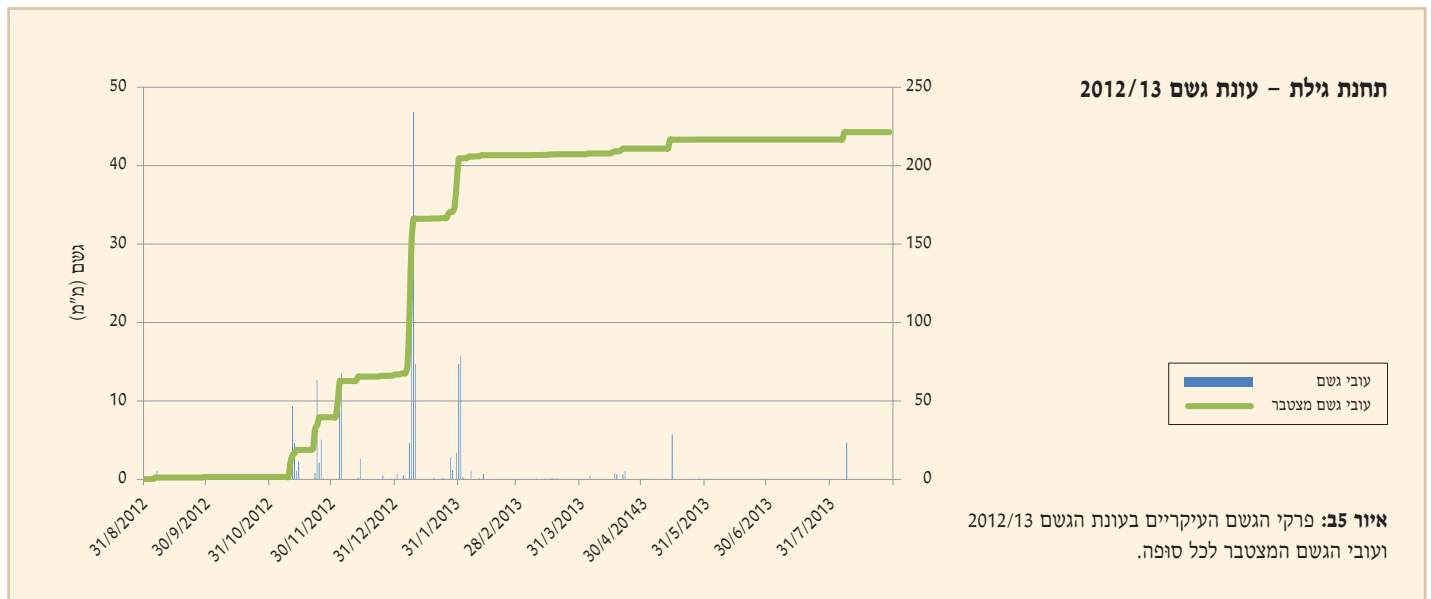
באגן נחל שמריה, החל מעומק של 20 ס"מ, נמצאה עלייה מועטה באחוזי ה-SO₄ כלפי העומק בקידוחי המעלה (1, 2). קידוח 2 הוא עם הערך הגבוה ביותר בעומק של 40 ס"מ. בקידוחי המורד (3-5) אין כמעט שינוי במגמה כלפי העומק.



(עדיין פחות מקיבול השדה של כ-30%). ממוצע הלחות הגבוה ביותר (18.5%) התקבל בקידוח 5 (שחר, 2014), לאחר אירוע הגשם המשמעותי ביותר במשך העונה, הן מבחינת כמות הגשם, משך הסופה ועוצמת הגשם המרבית.

הידרולוגיה

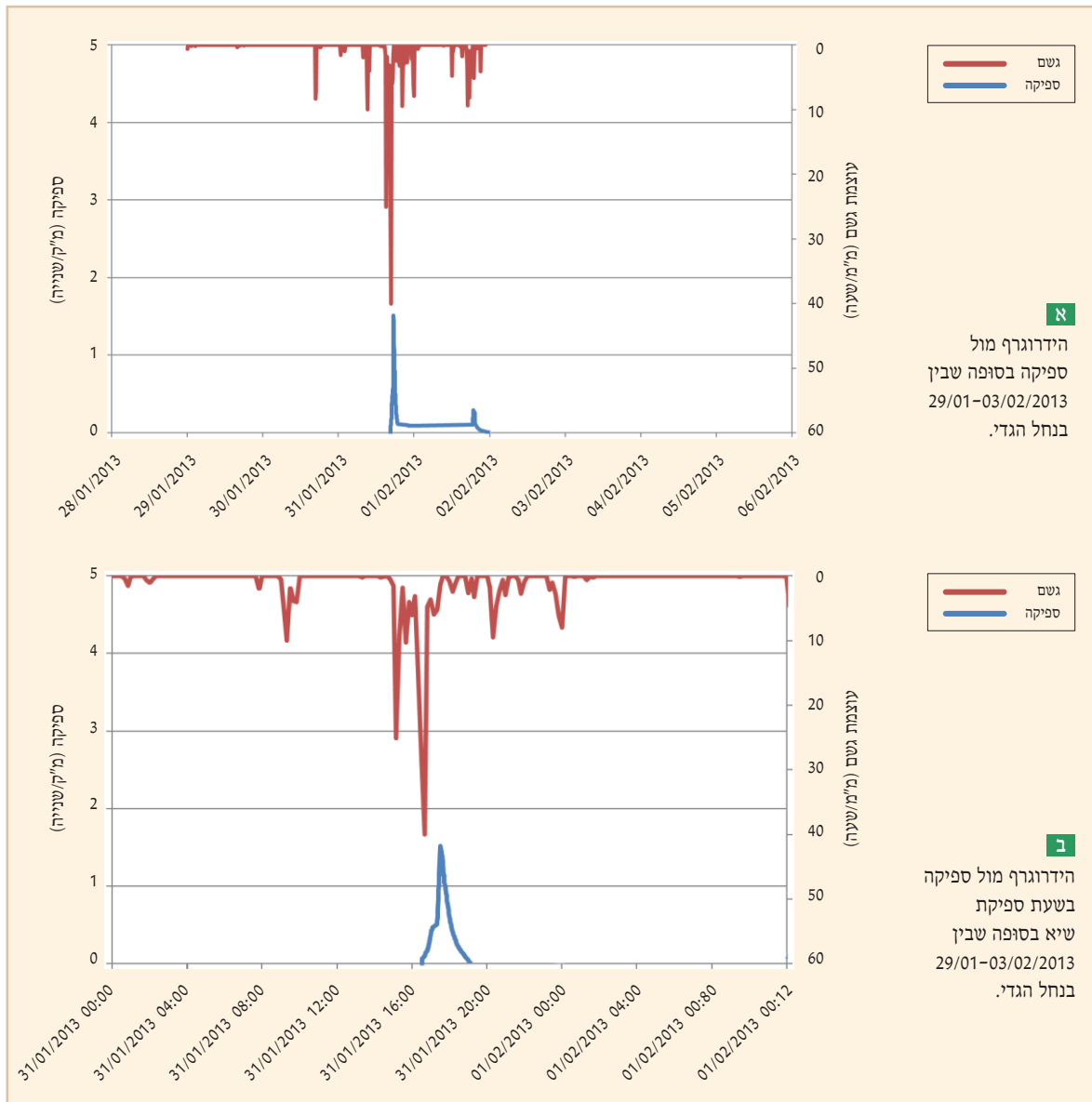
איור 7 (א-ב) מציג שני מקרים שכיחים של גאויות בנחל הגדי. הגאויות מתאפיינות בספיקות שיא נמוכות (> 2 מ"ק שנייה) ונפחי נגר עילי קטנים ביחס לפוטנציאל גודל השטח התורם. הסבר לכך עשוי להימצא מניתוח של צורת ההידרוגרף. אירועי הזרימה בנחלים מאופיינים בצורת ההידרוגרף טיפוסי: הענפים העולה והיורד של ההידרוגרף הם תלולים וחדים. צורה כזו של ההידרוגרף מצביעה על תרומת נגר ממקור מקומי בסמיכות לערוץ הנחל ולתחנה ההידרומטרית ועל ניקוז מהיר. ניתוח מפורט יותר יוצג בעתיד.



דיון ומסקנות

הגישה במחקר זה היא רב-תחומית, שילוב של ניתוח תהליכים הידרולוגיים עכשוויים ותהליכים פדולוגיים ארוכי-טווח. הגישה מתאימה במיוחד לאזורים יבשים, שבהם למאפייני השטח תפקיד חשוב ביחסי נגר-גשם ותכונות קרקע. גישה זו באה לידי ביטוי במחקרים האחרונים בנושא קישוריות/חיבוריות הידרולוגיות (לדוגמה, Bracken & Croke, 2007; Reaney-Sommer & Schlichting, 1997; Bracken et al., 2013). הקישוריות ההידרולוגית נשלטת על ידי מספר גורמים: יחסי קרקע-סלע לאורך המדרון, המבטאים את יכולת פני השטח לייצר נגר; טופוגרפיה; אורך המדרון; שונות במשקעים בזמן ובמרחב, ושימושי הקרקע השונים (Yair & Lavee, 1985; Bracken & Croke, 2007).

הנתונים שהתקבלו במחקר מצביעים על ניתוק תפקודי בין המדרונות והערון הסמוך. תנאי השטיפה של הקרקעות במדרונות אינם אחידים. מעלה המדרון באגני נחל הגדי והשמריה מאופיין בתנאי שטיפה טובים יותר ביחס לאמצע המדרון. כלומר, גם אם נגר עילי מתפתח על גבי המדרון הוא נספג בקרקע לאחר מספר מטרים ולא מגיע למורד, לפיכך מתקיים קיטוע בין מעלה לבסיס המדרון. תנאי השטיפה במורד המדרון מתקיימים בנפרד מהמעלה, במרבית אירועי הגשם. ממצא זה נתמך על ידי הנתונים הפדולוגיים ומבוסס על ניתוח ההרכב המכני, המאפיינים הכימיים וערכי הרטיבות של הקרקע ותואם לממצאים מהמדידות ההידרומטריות. החלק התלול של ההידרוגרף



איור 7: היסטוגרמת גשם והידרוגרף יובל נחל הגדי באירוע הסופה.

מקורות

- ארזי, א. (1982). יחסי קרקע-נוף באזור הגבעות של שדה-בוקר (עבודת גמר), אוניברסיטת בר-אילן.
- דן, י., פיין, פ. ולביא, ח. (עורכים). (2007). קרקעות ארץ ישראל. המכון לחקר מדיניות קרקעי.
- לביא, ח. (1981). תפרוסת השטחים המדרוניים התורמים נגר עילי לאפיק באזור צחיח (עבודת דוקטורט). האוניברסיטה העברית בירושלים.
- שחר, י. (2014). השתנות תכונות הקרקע לאורך גרדאינט אקלימי בשולי המדבר (עבודת גמר). האוניברסיטה העברית בירושלים.
- Bracken, L.J. & Croke, J. (2007). The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. *Hydrological Processes*, 21: 1749–1763.
- Bracken, L.J., Wainwright, J., Ali, G.A., Tetzlaff, D., Smith, M.W., Reaney, S.M. & Roy, A.G. (2013). Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth Sciences Reviews*, 119: 17–34.
- Dan, J. & Yaalon, D.H., 1982. Automorphic saline soils in Israel. *Catena Suppl.*, 1:103–115.
- Reaney-Sommer, M. & Schlichting, E. (1997). Archetypes of catenas in respect to matter – a concept for structuring and grouping catenas. *Geoderma*, 76: 1–33.
- Wieder, M. & Yaalon, D.H. (1985). Catenary soil differentiation on opposite-facing slopes related to erosion-deposition and restricted leaching processes, northern Negev. *Israel Journal of Arid Environments*, 9: 119–136.
- Yair, A. (1987). Environmental effects of loess penetration into the northern Negev Desert. *J. Arid Environm.*, 13: 9–24.
- Yair, A. (1990). The role of topography and surface upon soil formation along hillslopes in arid climates. *Geomorphology*, 3: 287–299.
- Yair, A. & Kossovsky, A. (2002). Climate and surface properties: Hydrological response of small arid and semi arid watersheds. *Geomorphology*, 42: 43–57.
- Yair, A. & Lavee, H. (1985). Runoff generation in arid and semiarid zones. In: M.G. Anderson & T.P. Burt (Ed.), *Hydrological Forecasting* (183–220 pp.). Chichester: Wiley & Sons.
- מעיד על תרומה מהירה של נגר מהאזורים הסמוכים לאפיק ועל ניקוז מהיר בסמיכות לערוץ הנחל ולתחנה ההידרומטרית וככל הנראה לא כלל השטח התורם נגר (איור 7). ההסבר המוצע הוא, שבתנאי הגשם הנוכחים של עוצמות גשם נמוכות, קרקע הלס קולטת את רוב מי הגשם וכתוצאה מכך הסיכויים ליצירת נגר נמוכים. כאשר נוצרת זרימה, זמנה קצר מאוד והיא אינה רציפה. הערכים המרביים של רטיבות שנמדדו – 27% בגדי ו-20% בשמריה – מעידים על תנאי קצה של לחות הקרקע, שלא עברה בעונת המדידות את קיבול השדה שלה. מכיוון שגם עוצמות הגשם נמוכות, יצירת הקרום מעטה והשפעתו קטנה, כך שגשם היורד במעלה המדרון נספג, חודר ומחלחל אל הקרקע ולא נוצר נגר עילי בחלק זה של המדרון, מכאן, שאירועי הגשם השכיחים לא מאפשרים יצירה של זרימת נגר עילי רציף.
- ראוי לציין, כי השטיפה המוגבלת בתחום המחקר הוזכרה על ידי Wieder & Yaalon (1985) בהתייחסותם ל"תהליכי השטיפה המוגבלים" של הקרקעות באזור הנגב הצפוני. לפי נתונים אלו, לאורך שני מדרונות המחקר לא קיימות קאטנות קלאסיות. אם הייתה קאטנה לאורך המדרון היינו מצפים שהחומר הדק שהושקע במעלה המדרון ייסחף ויושקע בבסיס המדרון ושתהליכי השטיפה יהיו הדרגתיים לאורך כל המדרון ומוגברים יותר בבסיס. נתונים אלו מצביעים על האפשרות שלא קיימת רציפות בזרימות לאורך המדרון, אלא קיים קיטוע בין מעלה המדרון למורדו.
- לקרקע במעלה המדרון, בגלל אחוז החרסית היחסית גבוה, כושר קיבול שדה גבוה של כ-30% ותנועת מים איטית. תאחיזת מים גבוהה, בשילוב עם אידוי, גורמת להעלאת ריכוז המומסים בקרקע.
- בשאר חלקי המדרון הקרקע פחות חרסיתית ולכן תאחיזת המים יורדת והחלחול גבוה יותר.