

עיונים במורפולוגיה של נחל שיזפים¹

מאת

ד. ניר

מטרתו של מאמר זה היא לנתח ניתוח מורפומטרי כמה מיסודות הנוף של אגן-היקוותו של נחל שיזפים, כמדגם ממסגרתו הכללית של אגן-היקוותו של נחל חרוד. השיטות שנוקטנו להן בעבודה זו הן אלה שפותחו על-ידי הורטון², שטראהלר³, שום⁴ ואחרים. חשיבותן של השיטות הללו היא באפשרות לדון דיון כמותי בצורות הנוף, ומכאן—להשוותן לצורות נוף אחרות. למען הקל על הקורא מובאות בעבודה זו גם כמה הגדרות של שיטות אלה.

א. מבוא

אגן-היקוותו של נחל חרוד נמצא ממזרח לפרשת-המים שבין ים-המלח לים-התיכון, וניקונו לירדן. שטח האגן הוא כ-180 קמ"ר⁵, מעפולה במערב עד הירדן במזרח ומגבעת-המורה בצפון עד רכס הגלבוע בדרום (ראה ציור 1). יובלו העיקרי של נחל חרוד הוא נחל שיזפים, ששטח אגנו הוא 37 קמ"ר.

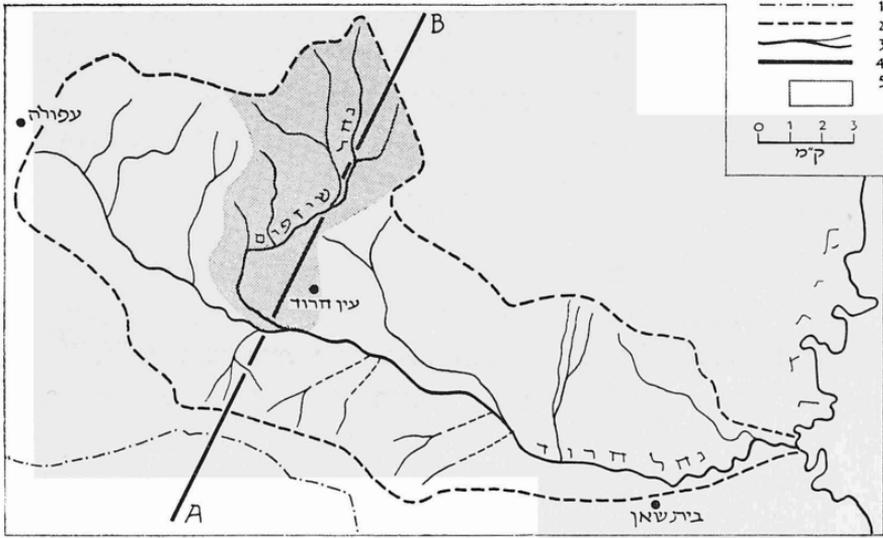
1. עבודה זו היא סיכום של עיונים שבאו בעקבות מחקרי-שדה, שנערכו בפסח תשכ"א (אפריל 1961) בעין-חרוד, במחנה הלימוד של המחלקה לגיאוגרפיה של האוניברסיטה העברית.

2. R. E. Horton, Erosional Development of Streams and their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, *Bull. Geolog. Soc. Amer.*, 56, 1945, pp. 275—370

3. A. N. Strahler, Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, *Transact. American Geophys. Union*, 38, 6, 1957, pp. 913—920

4. S. A. Schumm, Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey, *Bull. Geolog. Soc. Amer.*, 67, 1956, pp. 597—646

5. בגבול האגן המסומן בציור 1; מדידת השטח נערכה על-ידי פלנימטר.



ציור 1
מפת האיזור

1. גבול מדיני; 2. גבול היקוותו של נחל חרוד; 3. נחלים עיקריים; 4. חתך מורפולוגי (וראה ציור 2); 5. אגן-היקוותו של נחל שרדפים.

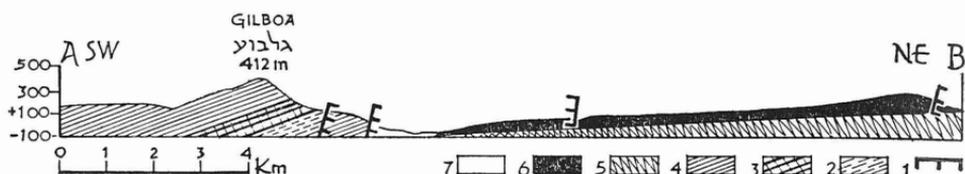
הרקע הטקטוני

לאגן-היקוותו של נחל חרוד מבנה אסימטרי ברור. חלקו הדרומי של האגן כולל את המדרונים הצפוניים של הר גלבוע, השופעים בתלילות רבה מגובה של כ-500 מ' (הר ברקן) עד עמק חרוד, הנמצא 100 מ' מתחת לפני הים. חלקו הצפוני של האגן, לעומת זה, בנוי מדרונים מתונים (רמות יששכר ורמת צבאיים), שגבהם בתחום האגן הוא 300 מ' בלבד, פרט למדר-רוניה של גבעת המורה, המתנשאים עד לגובה של 500 מ'. הבדלים אלה בין חלקו הצפוני של אגן נחל חרוד לבין חלקו הדרומי הם תוצאת המבנה הטקטוני של האיזור: תחום של גושים מלוכסנים (tilted blocks), שמגבילים אותם שורת העתקים, בעלי שלח מתון, הפונה כלפי דרום-מערב, מזה, ורום תלול, הפונה כלפי צפון-מזרח, מזה (וראה ציור 2). את אגן נחל חרוד בונים אפוא רום הגלבוע והשלח של רמות כוכב.⁶

N. Schulman, The Geology of the Central Jordan Valley, *Bull. Res. Counc. of Israel*, 8 G, 1959, pp. 63—90

עיונים במורפולוגיה של נחל שיזפים

למבנה אסימטרי זה, שהוא צעיר למדי ומיוחס לסוף הניאוגן, השפעה מכרעת על צורות הנוף הנוכחיות ועל רשת הנחלים באגן נחל חרוד. באגן היקוותו של נחל שיזפים, לעומת זה, שוררים, בדרך-כלל, תנאים טקטוניים אחידים, שכן נמצא הוא כולו בתחום השלח של רמות כוכב, חוץ משני גושים מלוכסנים משניים הנמצאים בתחומו.



ציור 2

חתך באגן נחל חרוד

1. העתק; 2. קנומן-טורון; 3. סנון; 4. איאוקן; 5. ניאוגן; 6. שפכי-בזלת מסוף הניאוגן; 7. רבעון.

(לפי ל. פיקארד, מפה גיאולוגית של ישראל, 1:100,000, חלק צפוני, גליון 5 [נצרת], 1957).

ה מס ל ע

גם מבחינת ערכם המורפולוגי של הסלעים רב ההבדל בין חלקו הצפוני של אגן נחל חרוד לבין חלקו הדרומי. בעוד שחלקו הצפוני בנוי רובו ככולו שפכי-בזלת ניאוגניים, וסלעי-המשקע הגיריים שבו אינם אלא איים בודדים (גבעת עין-חרוד, גבעה קרה, גבעת המורה) — בנוי הגלבוע כולו סלעי-משקע: דלומיט, גיר ליתוגראפי וגיר נומולוטי⁷.

ה ק ר ק ע

התלילות השונה וטיבם השונה של סלעי-האם שבחלקו הצפוני והדרומי של אגן נחל חרוד גרמו, שסוג הקרקעות, טיבם ועמקם יהיו שונים בשני החלקים. בעוד שבחלק הצפוני הקרקע הוא קרקע-בזלת רצוף, שעמקו

A. Flexer, The Geology of Mount Gilboa, *Bull. Res. Council of Israel*, 7, 10 G, 1961, pp. 64—67; M. Oppenheim, The Geology of the South-eastern Galilee Lava Fields, *Bull. Res. Council of Israel*, 1962, 11G, pp. 58—84

80—60 ס"מ ומעלה⁸ (מלבד הגבעות הבודדות שצוינו לעיל), הרי קרקע הגלבוש אינו אלא קרקע שלדי, שעמקו אינו רב ושסלע־האם הגירי־דולומיטי שלו חשוף במרבית המקומות, לעתים בצורת טרשונים. משום כך החלחול בקרקע הגלבוש רב בהרבה מזה שבקרקעותיו של חלקו הצפוני של האגן. תנאים אלה (המבנה, המסלע והקרקעות) יוצרים את רשת הנחלים הנוכחית, שהדיון בה הוא מטרתו העיקרית של מאמר זה.

ה ר ק ע ה א ק ל י מ י

האיזור משתרע בגבולו המזרחי של תחום האקלים היס־תיכוני. במערבו יורדת כמות־גשמים שנתית של 414 מ"מ (תל־יוסף) עד 473 מ"מ (גבע), ואילו במזרחו כבר שוררים תנאים של אקלים צחיח־למחצה: בבית־שאן כמות־הגשמים השנתית היא 320 מ"מ בלבד⁹. הגשמים יורדים ב־43—49 ימי־גשם, בממוצע, והעצמה היומית הממוצעת היא אפוא 7—9 מ"מ¹⁰.

ת נ א י־ ה ז ר י מ ה

למעיינות שבתחומי היקוותו של נחל חרוד אין היום השפעה על רשת הניקוז, מאחר שהאדם מזרים את מימיהם בתעלות או בצינורות. עין עמל, שזרימתו השנתית הממוצעת היא 24.6 מיליון מ"ק¹¹, נשפך אל חלקו התחתית של נחל חרוד, בסמוך לשפכו של הנחל לירדן, והוא הדין למעיינות חוגה ועפרוני.

הנחל זורם בעיקר בעת שטפונות, הנגרמים על־ידי גשמי־הפתע, היורדים בראשית העונה הגשומה ובסופה. מקדם הזרימה — היינו, אחוז המשקעים הניגרים באפיקו של נחל חרוד — הוא 7.4%. בעת השטפון הגדול של 25 בדצמבר 1955 היתה זרימתו המירבית 64 מ"ק/שנייה; הכמות הכוללת השנתית היתה 5 מיליון מ"ק¹². כוח הסחיפה של המים רב מאוד, במיוחד

8. נ. גיל וצבי רוזנפט (רו), קרקעות ארץ־ישראל ואפשרות ניצולם החקלאי, משרד־החקלאות, המחלקה לשימור הקרקעות, 1955, מפות 1:40,000.
9. ספר העשור של השירות המטאורולוגי, תל־אביב תשי"ח (1958), עמ' 60.
10. ספר העשור (למעלה, הערה 9), עמ' 68.
11. ד. ניר, איזור בית־שאן, תל־אביב 1961, עמ' 21.
12. ניר (למעלה, הערה 11), עמ' 73.

באגן-היקוותו של נחל שיזפים, הזורם כמעט כולו בתוך קרקע עבה של חרסית (לוח ה).

ב. רשת הנחלים¹³

טבלה 1

הנתונים היסודיים על המורפומטריה של אגן נחל חרוד ונחל שיזפים

השטח (קמ"ר)	האורך המוצע (ק"מ)	ארכם הכולל של הנחלים (ק"מ)	מספר הנחלים	אגן
180	1.140	¹⁴ 278.3	217	נחל חרוד כולו
126.3	1.230	224	183	נחל חרוד — החלק הצפוני
53.7	1.047	35.6	34	נחל חרוד — החלק הדרומי
37	0.695	51.6	44	נחל שיזפים

דרגות הנחלים (stream order)¹⁵

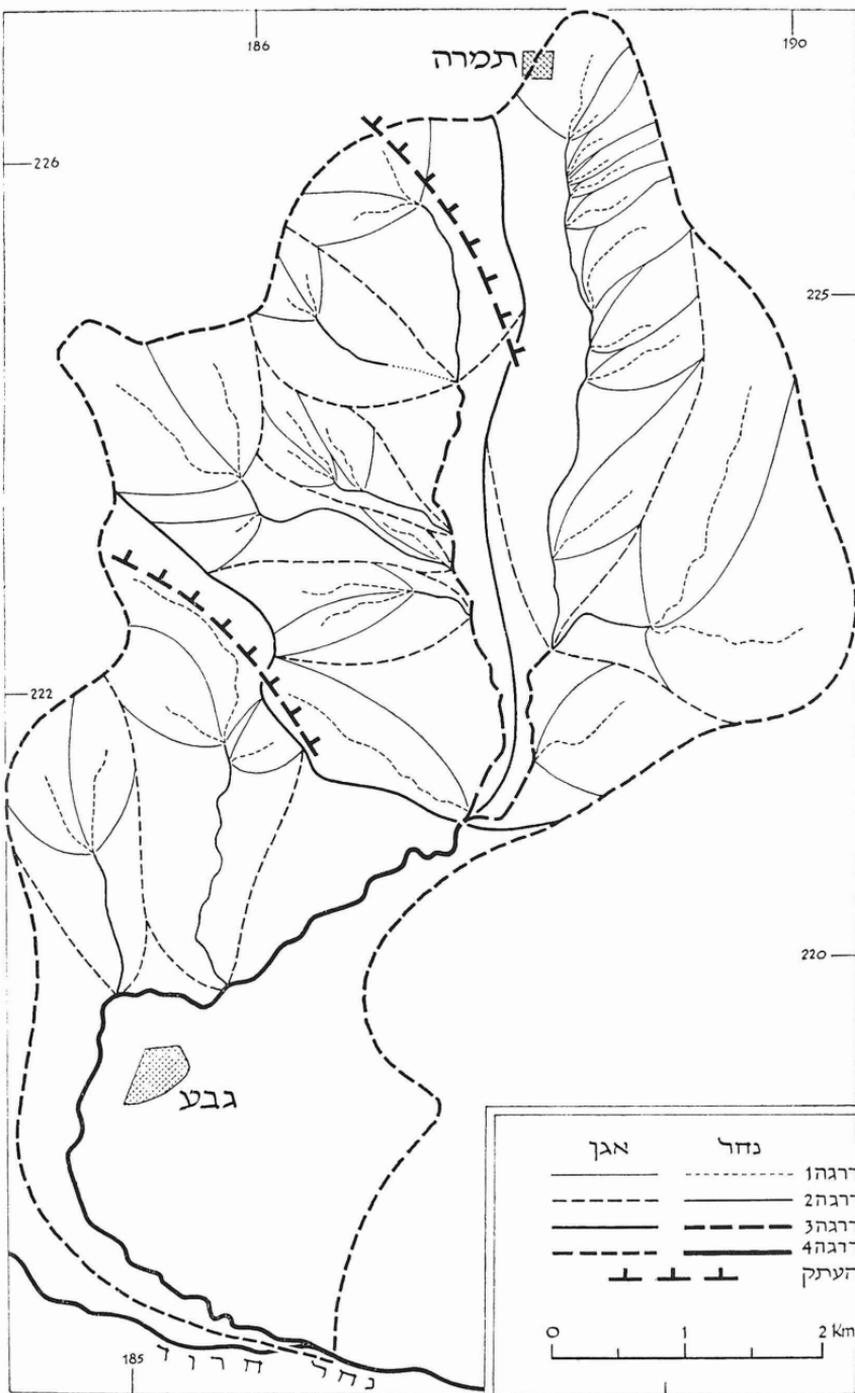
ניתוח דרגות הנחלים באגן מסוים פירושו קביעת דירוגם של הנחלים השונים באגן, דבר המאפשר דיון ביחסים השונים שבין מספר הנחלים שבאגן, ארכם, שטח האגן, מפלס־הגובה וכו'. את שיטת הדירוג התווה הורטון¹⁶, וממשיכו שינוה אך במעט. עם דרגה 1 נמנים הערוצים הראשוניים, העומדים ברשות עצמם. מפגש שני ערוצים מדרגה 1 יוצר ערוץ מדרגה 2; מפגש שני ערוצים מדרגה 2 יוצר ערוץ מדרגה 3; וכו'. ערוץ מדרגה 3 עשוי לקבל, כמובן, גם ערוצים מדרגה 1, אך רק מפגש של שני ערוצים מדרגה 3 יכול ליצור ערוץ מדרגה 4. הדרגה הגבוהה ביותר באגן היא אפוא זו של הנחל הראשי (וראה ציור 3).

13. סיכום כולל על מרבית השיטות שנוקנו להן בעבודה זו — ראה: שטראהלר (למעלה, הערה 3).

14. לרבות התואי של נחל חרוד, שלא נכלל בשני האגנים הבודדים (הצפוני והדרומי).

15. המונחים העבריים במאמר זה הם בבחינת הצעה בלבד (בחלקם הוצעו עליידי א. שיק).

16. הורטון (למעלה, הערה 2), עמ' 281—282.



ציור 3

דרגות הנחלים ואגני-ההיקוות באגן נחל שיזפים

עיונים במורפולוגיה של נחל שיזפים

למיון מעין זה יש צורך במפה מפורטת, בהשלמת תוואי הניקוז על-ידי הארכת הערוצים, ובמידת הצורך — במחקר־שדה או בתצלומי־אוויר. כן יש לחלק את שטח האגן הראשי לאגני־משנה (אגנו של נחל מדרגה 1, אגנו של נחל מדרגה 2, הכולל את אגני דרגה 1, וכו'; וראה ציור 3). לפי עקרונות־מיון אלה מתחלקים 217 הנחלים של אגן נחל חרוד כדלקמן:

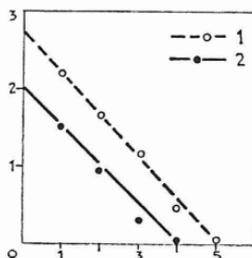
מספר הנחלים	מדרגה	1	—	152
"	"	2	—	47
"	"	3	—	14
"	"	4	—	3
"	"	5	—	1

(= נחל חרוד)

מספר הנחלים הולך ופוחת ככל שהדרגה גבוהה יותר. נתונים אלה מתאי־מים ל"חוק הראשון של הורטון"¹⁷, לפיו מספר הנחלים בכל דרגה עומד ביחס גיאומטרי הפוך למספר הדרגה. הנתונים המובאים בציור 4 ניתנים בצורה גראפית, הן לגבי אגן נחל חרוד כולו והן לגבי אגן־המדגם שלנו (אגן נחל שיזפים), שגם עליו חל החוק הנ"ל:

מספר הנחלים	באגן נחל שיזפים	מדרגה	1	—	32
"	"	2	—	9	
"	"	3	—	2	
"	"	4	—	1	

(= נחל שיזפים)



ציור 4

המתאם בין מספר הנחלים לבין דרגות הנחלים
 באבסציסה — דרגת נחל; אורדינאטה — לוגאריטמוס של מספר הנחלים.
 1. נחל חרוד; 2. נחל שיזפים.

17. הורטון, עמ' 286.

יחס ההסתעפות (bifurcation ratio)

יחס בין מספר הנחלים מדרגה מסוימת לבין מספר הנחלים מדרגה גבוהה יותר נקרא יחס ההסתעפות¹⁸. כך, למשל, באגן נחל חרוד כולו יחס ההסתעפות בין דרגה 2 לדרגה 1 הוא 3.2, כלומר, מספר הנחלים מדרגה 1 גדול פי 3.2 ממספר הנחלים מדרגה 2 (47:152). גם בנחל שיזפים קיים יחס דומה (3.5). בספרות, שבה נדון נושא זה, הערכים המתייחסים ליחס ההסתעפות בין שתי הדרגות הנמוכות הם על-פירוב יציבים למדי, אף-כי הם גבוהים במקצת מן הערכים שהוזכרו כאן (3.5—5.3)¹⁹. באגן נחל חרוד יחס ההסתעפות בין דרגות 2 ו-3 דומה (3.3), בעוד שבאגן נחל שיזפים הוא גדול יותר (4.5). ייתכן, שסיבת הדבר בקווי-ההעתק, שקבעו באגן זה את הסתעפותם המעניינת של הנחלים מדרגה 3, עם זאת מתאים יחס זה לערכים הנזכרים בספרות (3.3—5.6).

ארכם הממוצע של הנחלים

בטבלה 2 מובא ארכם הממוצע של הנחלים, בהתאם לדרגותיהם.

טבלה 2

ארכם הממוצע של הנחלים באגני-ההיקוות של נחל חרוד ושל נחל שיזפים (במטרים)

הנחל	דרגה 1	דרגה 2	דרגה 3	דרגה 4	דרגה 5
חרוד	969	1,212	1,850	6,216	29,400
שיזפים	715	1,600	3,072	7,200	—

לפי הרוטון קיים יחס גיאומטרי ישיר בין ארכם הממוצע של הנחלים מדרגה מסוימת — הכוללת, כאמור, את הדרגות הנמוכות ממנה — לבין מספר הדרגה.

18. הורטון, עמ' 287.

19. Strahler, *op. cit.*, pp. 914—915; idem, Hypsometric (area-altitude) Analysis of Erosional Topography, *Bull. Geolog. Soc. Amer.*, 63, 1952, p. 1134

צפיפות רשת הניקוז (drainage density)

צפיפות רשת הניקוז היא ערך חשוב, המציין את מידת התפתחותה של רשת הנחלים באגן מסוים. לפי הורטון²⁰, הגדרתה היא זו: היחס שבין סכום ארכם של הנחלים באגן מסוים (לרבות הנחלים בעלי דרגה נמוכה יותר) לבין שטח האגן. כפי שהוכיח שטראהלר, קיים יחס ישיר בין צפיפות הניקוז לבין טיב המסלע.

צפיפות רשת הניקוז באגני נחל חרוד ונחל שיזפים חושבה על סמך הנתונים שבטבלה 1. צפיפות רשת הניקוז באגן נחל חרוד כולו היא 1.5, כלומר, על שטח של קמ"ר ארכם הכולל של הנחלים הוא 1.5 ק"מ, בממוצע. בחלקו הדרומי של אגן נחל חרוד צפיפות רשת הניקוז היא קטנה בהרבה: 0.6, היינו, ארכם הכולל של הנחלים על כל קמ"ר הוא 0.6 בלבד. בחלקו הצפוני של אגן נחל חרוד צפיפות רשת הניקוז היא 1.7. ההפרש הגדול בין ערכיהם של שני החלקים אינו מקרי, והוא מעיד על השוני הרב שבין שני חלקי האגן, שבהם באות לידי ביטוי השפעות ליתולוגיות שונות, היינו, השוני בטיב המסלע: בחלקו האחד של האגן מעודדות את התפתחות הניקוז אדמות־הבזלת הכבדות, ואילו בחלקו האחר הניקוז דל, בעקבות החלחול המוגבר בקרקעות הגיר והדולומיט. כאשר המבנה הליתולוגי ושיפועי המדרונים הם אחידים — ניתן גם לצפות לאחידות בערכי הצפיפות של רשת הניקוז. מבחינה זו נחל שיזפים הוא כמעט אחיד. ואלה ערכי הצפיפות של רשת הניקוז בו:

ט ב ל ה 3

ערכי הצפיפות של רשת הניקוז באגני־המשנה של נחל שיזפים

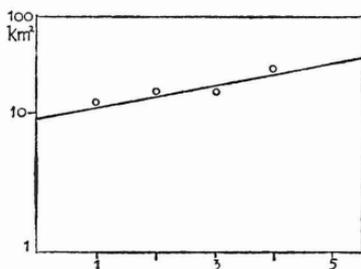
דרגה	ארכם הכולל של הנחלים (בק"מ)	השטח (בקמ"ר)	צפיפות הניקוז
1	22,870	15.9	1.4
2	37,270	25.6	1.4
3	43,420	28.4	1.5
4	50,620	37	1.3

20. הורטון, עמ' 283.

בטבלה 3 בולטת האחידות שבערכי הצפיפות של רשת הניקוז בכל דרגות הנחלים שבאגן: הממוצע הוא 1.4, ואילו הסטייה היא 0.1 בלבד. לא זו בלבד שאגן נחל שיזפים הוא בעל צפיפות אחידה של רשת-הניקוז, אלא הוא גם מייצג יפה את אגן נחל חרוד כולו, שבו הצפיפות היא 1.5.

כ ל כ ל ת ה א פ י ק (channel maintenance)

בציור 5 ניתן לראות את היחס בין שטחם של אגני-ההיקוות לבין דרגות הנחלים שבהם: ככל שדרגת הנחל גבוהה יותר, כן גדול יותר שטחו של אגן-ההיקוות. היחס שביין שטחו של אגן-ההיקוות לבין ארכם הכולל של הנחלים בו (שהוא היפוכו של היחס המגדיר את "צפיפות הרשת") מציין את כלכלת האפיק, היינו, את גדלו של השטח ה"מכלכל" מטר אחד של האפיק.²¹



ציור 5

היחס בין שטח האגן לבין דרגות הנחלים

אבסציסה — דרגת נחל; אורדינאטה — לוגאריטמוס של שטח האגנים.

באגן-היקוותו של נחל חרוד כולו "מכלכל" שטח של 0.64 קמ"ר קילומטר אחד של אפיק. המשך הניתוח מאשר את עובדת האסימטריות של אגן זה: בחלקו הצפוני של האגן הערך הוא 0.56 קמ"ר, בעוד שבחלקו הדרומי הערך הוא 1.60 קמ"ר, כלומר, בחלקו הדרומי של האגן "מכלכל" שטח שהוא גדול פי שלושה מאשר השטח שבחלקו הצפוני קילומטר אחד של אפיק.

בנחל שיזפים הערכים הם אחידים הרבה יותר: כל האגן — 0.73 קמ"ר, ואגני הנחלים מדרגה 1—2 — 0.69 קמ"ר, ואגני הנחלים מדרגה 3 — 0.65 קמ"ר.

21. שום (למעלה, הערה 4), עמ' 605—607.

מקדם האסימטריות

מקדם נוסף לציון אפיו של אגן-היקוות פותח על-ידי פנשמל וטרס²². זהו היחס שבין שטחיהם של שני חלקי האגן — השמאלי והימני. ככל שהסימטריות גדולה יותר, כן קרוב יותר המקדם ל-1; ולהיפך, ככל שההבדל בין שטחיהם של שני חלקי האגן הוא גדול יותר, כן גדול יותר מקדם האסימטריות. באגן חרוד, שהאסימטריות שלו צוינה כבר פעמים מספר, המקדם הוא 2.3. באגן נחל שיזפים מקדם האסימטריות הוא 1.1, היינו, מידת הסימטריות של האגן רבה למדי²³.

ג. יסודות התבליט

מקדם התבליט (relief ratio)

מקדם התבליט, שפותח על-ידי שום²⁴, מציין את היחס שבין תבליט האגן (היינו, ההפרש שבין הנקודה הגבוהה ביותר לבין הנקודה הנמוכה ביותר באגן) לבין ארכו של האגן, היינו, לקו המקביל לתוואי-הניקוז העיקרי. מדידת מקדמי התבליט בכל אחד מ-32 אגני-ההיקוות של הנחלים מדרגה 1 שבאגן נחל שיזפים העלתה, שמקדמי התבליט המאכסימאליים הם 0.57, ואילו המקדמים המינימאליים — 0.04; המקדם הממוצע הוא 0.22. מקדם התבליט הממוצע של אגני הנחלים מדרגה 2 (לרבות הנחלים מדרגה 1) הוא 0.09. מקדם התבליט של דרגה 3 הוא 0.05, ואילו זה של דרגה 4 — היינו, של כל אגן נחל שיזפים — הוא 0.03. במלים אחרות: ככל שהדרגה גבוהה יותר, כן יקטן מקדם התבליט. ככל שמתרחקים מן הנחלים מן הדרגה הנמוכה, שהם הקרובים ביותר לפרשת-המים, כן התבליט מתון יותר.

P. Pinchemel, *Les Plaines de craie du Nord-Ouest du Bassin 22 Parisien et du Sud-Est du Bassin de Londres*, Paris 1954, p. 381; M. Ters, *La Vendée littorale*, Paris—Rennes 1961, p. 308

23. נראה לנו, שהיה רצוי לערוך את המקדם הזה בצורה אחרת, כלומר, היחס בין השטח הקטן יותר לבין השטח הגדול יותר. בצורה זו ינוע המקדם בין 0.01 ל-0.99. ויציבע על מידת הסימטריות של האגן. ערכים גבוהים יותר יצביעו על סימטריות גבוהה יותר. במקרה שלפנינו יהיה מקדם הסימטריות 0.443 לגבי אגן נחל חרוד ו-0.808 — לגבי אגן נחל שיזפים.
24. שום (למעלה, הערה 4), עמ' 612.

כלל זה חל גם על יתר הנחלים שבאגן נחל חרוד. מקדם התבליט של כל הנחלים הנשפכים אל נחל חרוד ממערב לנחל שיזפים (27 נחלים מדרגה 1, 8 נחלים מדרגה 2 ונחל אחד מדרגה 3) הוא 0.04. כלומר, המקדם גבוה במקצת מזה של אגן נחל שיזפים, משום שכל הנחלים זורמים על מדרוני גבעת המורה. באגן נחל יוסף, הנמצא כולו על רמת צבאיים הנמוכה, ממזרח לנחל שיזפים, מקדם התבליט הוא 0.02, כמוהו כמקדם התבליט של נחל חרוד כולו. אין ספק, שמקדם התבליט הוא מכשיר-עזר רב-חשיבות בהשוואת תכונותיהם העיקריות של אגני-ניקוז. השוואה בין אגנים מאותה דרגה באזורים שונים יש בה כדי לסייע בקביעת מהותם של אגנים אלה.

השיפועים הממוצעים

שעה שמדדנו את השיפועים הממוצעים הסתמכנו על מפה טופוגראפית בקנה-מידה של 1:20,000 עם קווי-גובה בעלי רווח אנכי של 10 מ'. החישובים נעשו בשתי שיטות, כדי לאפשר את ביקורת החישובים.

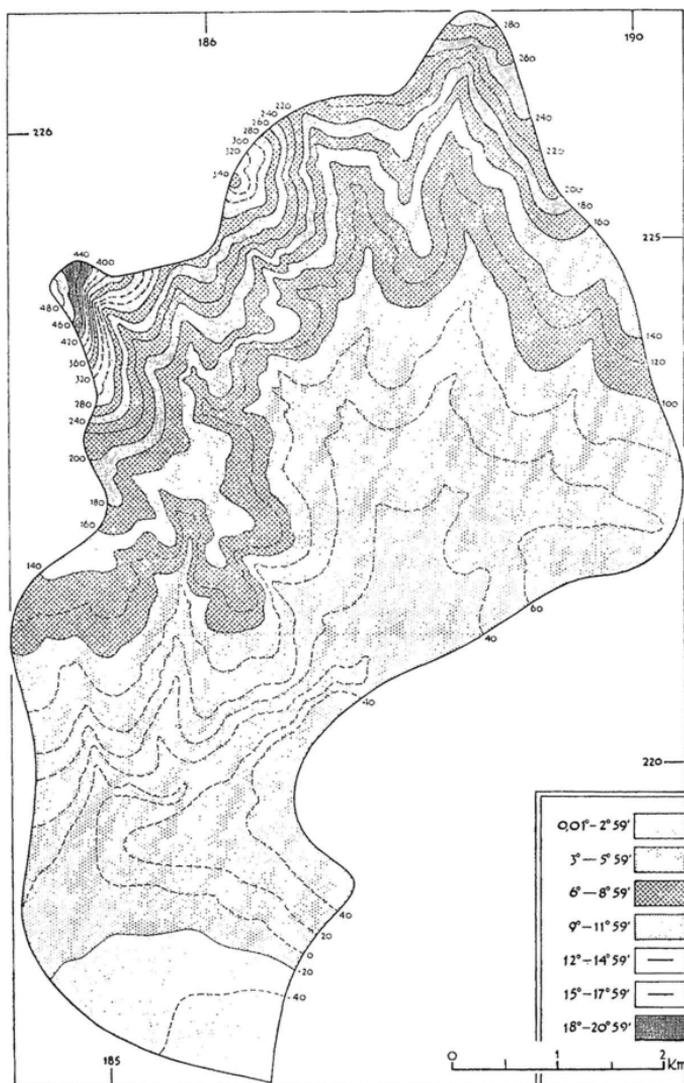
1. שיטת המדגם. — מדידותינו בשיטה זו, שהותוותה על-ידי שטראהלר²⁵, נערכו על פני שטח של 37 קמ"ר, ב-158 נקודות, המרוחקות זו מזו 500 מ'. כנקודות-מדידה שימשו נקודות-הצטלבות בין הרשת הקואור-דינאטית שבמפת 1:20,000 לבין רשת דיאגונאלית ששולבה ברשת הקיימת. בחירת נקודות-המדידה שלפנינו שונה מזו של שטראהלר, שבחר את מספריו באורח מקרי (random numbers). בכל נקודת-מדידה נמדד שיפועו של קטע מדרון באורך של 100 מ', בניצב לקווי-הגובה. הפרש הגובה שבין קצהו התחתון של הקטע לבין קצהו העליון חולק ב-100 (= אורך הקטע); הערך המתקבל הוא טאנגנט של זווית שיפוע הקרקע. השיפועים שחושבו בשיטה זו נעו בין $0^{\circ}6'$ ל- 25° ; הקבוצה העיקרית היתה קבוצת השיפועים המתונים ($0^{\circ}1' - 3^{\circ}$), שהיוותה 40% מכלל המדידות; קבוצת השיפועים הבולטים ($17^{\circ} - 25^{\circ}$) היוותה 3% בלבד; השיפוע הממוצע הוא $5^{\circ}36'$.

2. השיפועים הממוצעים בתחומים ההיפסוגראפיים (contour-belts). — בשיטה זו, המבוססת אף היא על עבודותיו של

A. N. Strahler, Quantitative Slope Analysis, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 25
67, 1956, pp. 589—592; idem, Statistical Analysis in Geomorphic
Research, *Journ. of Geology*, 62, 1954, pp. 2—4

עיונים במורפולוגיה של נחל שיזפים

שטראהלר²⁶, נערכת מדידת השיפועים הממוצעים בתחום מסוים שבין שני קווי-גובה. בחישוב שלנו נקבעו תחומים היפסוגראפיים שגבהם 20 מ'. ארכו הממוצע של תחום מסוים נקבע על-ידי חיבורם של שני קווי-גובה התחמים



ציור 6

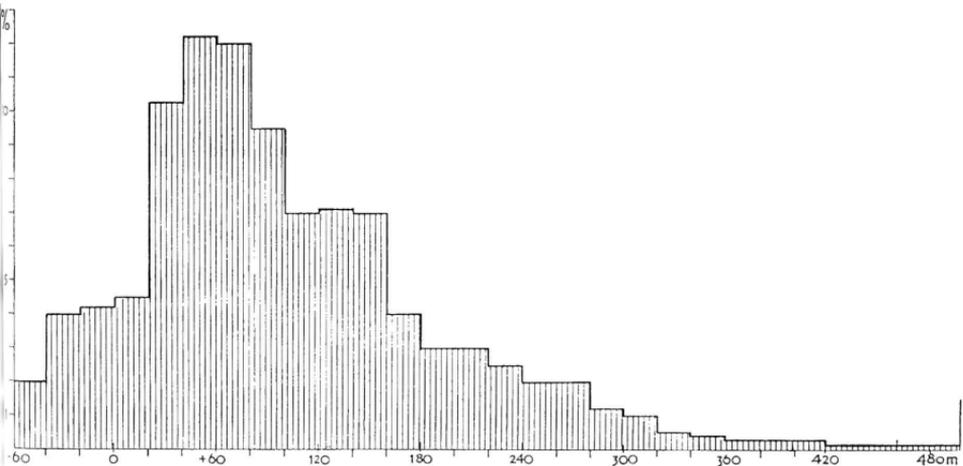
השיפועים הממוצעים באגן נחל שיזפים, לפי תחומים היפסוגראפיים

26. שטראהלר (למעלה, הערה 19), עמ' 1125—1128.

אותו ועל-ידי חלוקתם בשניים. לדוגמה: באגן נחל שיזפים התחום ההיפסו-גראפי שבין 60—80 מ' מוגבל במעלה המדרון בקו־גובה שארכו 13,000 מ', ואילו במורדו— בקו־גובה שארכו 13,300 מ'. ארכו הממוצע של התחום ההיפסוגראפי הוא אפוא 13,150 מ'. ניתן לחשב את רחבו הממוצע של תחום היפסוגראפי זה על-ידי חלוקת שטחו באורך הממוצע הנ"ל. שטחו של תחום זה הוא 4.2 קמ"ר, ורחבו הממוצע הוא אפוא 317 מ'. את המשך המדידה עורכים במקביל לשיטה הקודמת: מחלקים את ההפרש שבין גבהיהם של שני קווי־גובה (= 20 מ') ברוחב הממוצע. במקרה שלפנינו הזווית הממוצעת בתחום ההיפסוגראפי שבין 60—80 מ' היא $3^{\circ}35'$. מדידות כאלה נערכו בכל אחת מ־28 התחומים ההיפסוגראפיים שבאגן נחל שיזפים בין 60(—) מ' עד 500 מ'. הנתונים שורטטו במפה (וראה ציור 6) ונתוחו ניתוח סטטיסטי ראשוני. לפי חישוב זה זווית השיפועים הממוצעים של האגן היא $5^{\circ}42'$. ההפרש בין תוצאה זו לבין זו שנתקבלה במדגם הוא $6'$ —ע שירית המעלה בלבד (הפרש הקטן ב־2% מן התוצאה), ולפיכך מותר לראות את שני החישובים כמהימנים.

התפלגות הגבהים

הִיסְטוֹגְרָמָה שבציור 7 מציינת את התפלגותם של הגבהים המוחלטים



ציור 7

התפלגות הגבהים באגן נחל שיזפים

באגן נחל שיזפים, כאחוזים משטחו הכולל של האגן, בקבוצות של 20 מ' גובה כל אחת. מסתבר, שקיימת אסימטריות לגבי הערכים הנמוכים, היינו, רובו של האיזור נמצא בין הערכים הבינוניים והנמוכים. הגובה השכיח ביותר הוא זה של 50 מ' מעל פני הים-התיכון (105 מ' מעל לבסיס האגן), בעוד שגובהו הממוצע של האגן הוא 88 מ' מעל פני הים-התיכון (143 מ' מעל לבסיס האגן).

ניתוח היפסומטרי

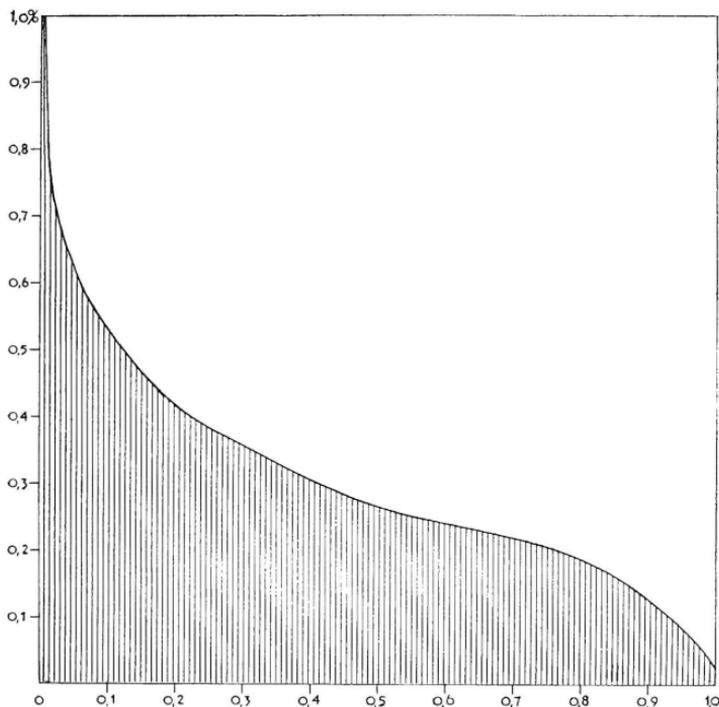
ניתוח היפסומטרי מדגים את התפלגותו של גובה פני הקרקע באגן נתון, מבסיסו עד שיאו²⁷. בעבודה שלפנינו נזקקנו לעקומה היפסומטרית הניתנת במספרים יחסיים, היינו, אחוזי הגובה כהשלכה של אחוזי השטח. האבסציסה של השיטה הקואורדינאטית מבטאת את היחס שבין השטח הנכלל בתחומו של קר-גובה אחד ולמעלה ממנו (a) לבין שטחו הכולל של האגן (A), היינו: $\frac{a}{A}$. ערכי האורדינאטה הם היחס שבין גבהו של קר-הגובה הנתון (h) לבין גבהו הכולל של האגן, מבסיסו עד שיאו (H), היינו: $\frac{h}{H}$. עקומה הבנויה בצורה זו מאפשרת את השוואת צורותיהם של אגנים ששטחיהם וגבהיהם שונים. היא מבטאת את האופן שבו מחולק נפח האדמה שמתחת לפני השטח, מבסיס האגן עד שיאו. עקומה כזו לגבי אגן נחל שיזפים מובאת בציור 8. השטח שמתחת לעקומה הוא 31% משטח הכארטוגראמה, או אינטגראל של 0.31.

שטראהלר יחס משמעות מורפולוגית מסוימת לערכי-עקומה שונים. לפיו אפייני אינטגראל גבוה לנוף שבשלב מוקדם של התפתחות. ככל שהנוף מתפתח יותר, כן יקטן האינטגראל שלו, עד הגיעו לשלב של "מונדאנוק". אף-על-פי שנופו של נחל שיזפים הוא צעיר, ערך העקומה שלו הוא נמוך מאוד. נראה לנו, שסיבת הדבר בעובדה, שלפנינו גוש מלוכסן, שערכיו ההיפסוגראפיים בחלקו הדרומי-מערבי היו נמוכים מאלה שבחלקו הצפוני-מזרחי אף בלי כל השפעה של כוחות חיצוניים. מבחינה טקטונית התייצב האגן רק בסוף הניאוגן ובראשית הרבעון. הפעולה הארוסיבית, הקצרה יחסית, עדיין לא יכלה להתגבר על גורם מורפולוגי ראשוני זה, ומכאן ריבוי הערכים

27. שטראהלר (למעלה, הערה 19), עמ' 1118—1125.

ד. ניר

ההיפסוגראפיים הנמוכים. בבואנו לייחס משמעות מורפולוגית לעקומה היפסו-גראפית, עלינו להתחשב אפוא בנתונים הטקטוניים היסודיים.



ציור 8

העקומה ההיפסוגראפית באגן נחל שיזפים
 אבסציסה — a/A ; אורדינאטה — h/H

ד. סיכום

ניתן לסכם את המדידות שנערכו באגן נחל חרוד בכלל, ובאגן נחל שיזפים בפרט, כדלהלן:

1. האסימטריות הבולטת שבין תכונותיו היסודיות של חלקו הדרומי של אגן נחל חרוד לבין אלה של חלקו הצפוני הביאה אף לאסימטריות גדולה בתכונותיו המורפולוגיות של האגן: בחלקו הדרומי של האגן השטח קטן יותר, מספר הנחלים מועט יותר, דרגות הנחלים נמוכות יותר, צפיפות רשת הניקוז קטנה יותר וכלכלת האפיק גדולה יותר מאשר בחלקו הצפוני.

עיונים במורפולוגיה של נחל שיזפים

2. קיימת אחידות כללית בתכונותיו המורפולוגיות של נחל שיזפים, בעקבות האחידות שבתנאים הראשוניים.
3. למבנה הטקטוני השפעה על התפלגות הגבהים באגן נחל שיזפים בעקבות היותו גוש מלוכסן, ומכאן ערכה הנמוך של העקומה ההיפסוגראפית באגן.