

התאמת המפה הטופוגראפית של ישראל בקנה־מידה 1 : 20,000 לניתוח גיאומורפולוגי כמותי *

מאת

א. שיק

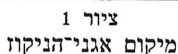
מבוא

כצעד מכין לניתוח גיאומורפולוגי כמותי של אגני הניקוז בחבל מנשה¹ נבדקה כשרותן של המפות הטופוגראפיות בקנה־מידה 1 : 20,000 לניתוח מעין זה. בדיקה כזו הכרחית, משום שמידת הדיוק של המפה הטופוגראפית של ישראל קטנה מזו של המפות הטופוגראפיות של ארצות־הברית, שעליהן מבוססים מרבית המחקרים בתחום זה עד עתה². המפות האמריקאניות, שהן בקנה־מידה 1 : 24,000 או 1 : 25,000, מאפשרות לא רק קביעה מדויקת של פרשות־מים וקווי־ניקוז, אלא אף קריאות מדויקות של השיפוע בנוף בעל טכסטורה גסה ותבליט גדול³. מבחינת הרווח האנכי ערכה של המפה הישראליה קטן בהרבה מזה של מפת ארצות־הברית, אף־על־פי שקנה־המידה של זו הראשונה מפורט יותר. במפות של חבל מנשה, למשל, הרווח האנכי הוא 10 מ', ובגליון אום אל־פחם — אף 25 מ'. במפת ארצות־הברית, לעומת זה, בשטחים בעלי תבליט דומה — כגון הפיידמונט של מרילנד — הרווח האנכי הוא כ־6 מ' (20 רגל).

ברור אפוא, שעריכת ניתוח גיאומורפולוגי כמותי בישראל מחייבת בדיקה מוקדמת של מהימנות המיפוי, כדי שאפשר יהיה להסיק מסקנות בעלות ערך לשם דיון משווה. המיפוי הישראלי הוא בחלקו ירושה מימי המאנדאט. מבחינת הניתוח הכמותי המפות המאנדאטוריות הן לעתים בלתי־מהימנות לחלוטין. כך, למשל, יש שוני רב בין אגן נחל הקיני (גליון אום אל־פחם) שבמפת שנת 1930 לבין אותו אגן במפה שיצאה לאור בשנת 1957. היות ורק בחלק מן המפות שיצאו לאור לאחרונה תוקנה הטופוגראפיה, מותר

* מאמר זה מבוסס על עבודת דוקטור¹, שנעשתה בהדרכתו של פרופ' י. שטרן במחלקה לגיאוגרפיה של האוניברסיטה העברית בירושלים. תודת המחבר נתונה לד"ר ד. גיר על הכנת המאמר לדפוס בעת שהותו בחו"ל ולמר נ. צ. באר על שצייר את הציורים.

כשרותן של המפות הטופוגראפיות לניתוח כמותי נבדקה בשלושה אגני-ניקוז מדרגה שנייה, שנבחרו באורח מקרי. בכל אגן נבדקו כמה נתונים יסודיים בתחום הגיאומורפולוגיה הכמותית. ואלה האגנים: (א) נחל עין בורק, שהוא יובל של נחל ברקן; (ב) נחל בקרבת רמת השניים, שהוא יובל של נחל השופט (בתחומי הבדיקה נחל זה אינו תמיד מדרגה שנייה); (ג) נחל בקרבת עיי סינדיינה, שהוא יובל של נחל עינות אלונים, הנשפך אל נחל תנינים (וראה ציור 1).



אגנים א' וג' משתרעים ממערב לפרשת־המים של הכרמל. אגן א', הנמצא באיזור של שלוחות מוארכות ומתונות יחסית, מנקז חלק מצלע אחת השלוחות, כמעט בניצב לציר הראשי של הניקוז. אגן ג' מנקז חלק מאיזור של גבעות מבודדות ותלולות יחסית, הקרויות גבעות עמיקם⁷. אגן ב', הנמצא ממזרח לפרשת־המים של הכרמל, הוא התלול שבשלושת האגנים, אף־על־פי שבחלקו העילי מצויים קטעים של הרמה השטוחה של פרשת־המים.

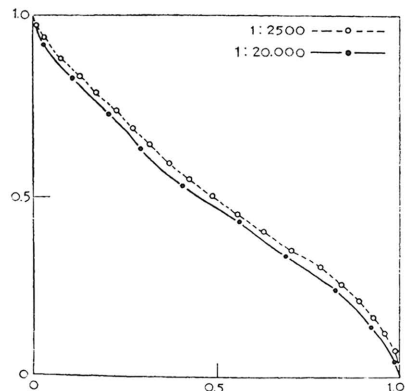
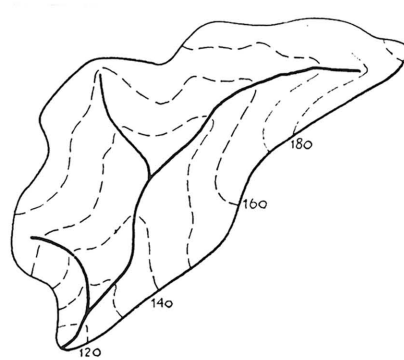
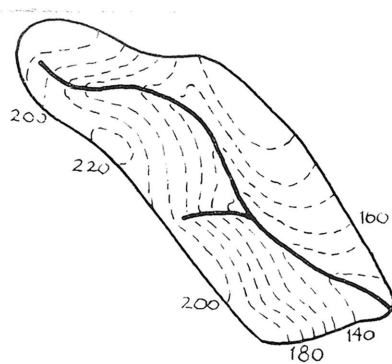
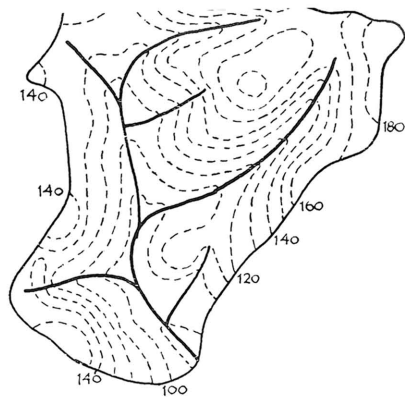
המשתנים שנמדדו

בשלושת האגנים נמדדו כמה משתנים פעמיים: פעם אחת במפה הטופוגראפית בקנה־מידה של 1:20,000, שבה הרווח האנכי הוא 10 מ', ופעם אחת במפה פוטוגראמטרית בקנה־מידה של 1:2,500, שבה הרווח האנכי הוא מטר אחד. המפה השנייה זהה לחלוטין עם השטח, עד כי יש שניתן להבחין בהשפעתה של אבן גדולה על התוויית קר־גובה מסוים. מתוך השוואת נתוני מפת 1:20,000 לאלה של מפת 1:2,500 ניתן אפוא לקבל תמונה על מידת התאמתם למציאות של נתוני מפת 1:20,000.

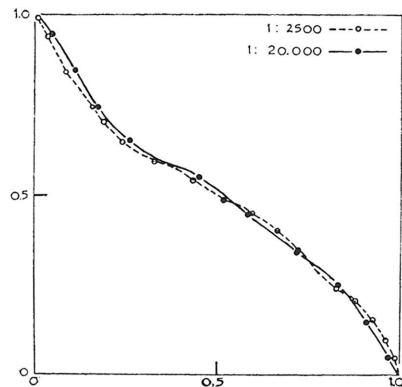
בשתי המפות סומנו קווי־הניקוז והוארכו בכיוון מעלה הזרימה, לפי השיטה המקבולת⁵. הגדרת ראשיתו של יובל מדרגה ראשונה סובייקטיבית במידת־מה⁴; נתברר, שקביעת כללים לכך — כגון זווית־גבול של 90 מעלות בין המשיקים לבין קווי־הגובה — איננה מעשית. הסימון היה אפוא עניין של תחושה, אף־כי נשמר הכלל, שאין לבסס את סימונו של קו־ניקוז בעיקול מובהק (significant crenulation) על קר־גובה אחד בלבד, אלא יש לבססו על שני קווים סמוכים, לפחות. מידת ההקבלה בין קווי־הגובה היא גורם חשוב כאשר באים לקבוע, אם עיקול הוא מובהק או בלתי־מובהק. גם במפת 1:2,500 נתקלים בקושי זה, אף־כי במידה פחותה בהרבה. השוואת הנתונים עשויה אפוא לשמש גם כאשר רוצים לבדוק, אם האדם שסימן את קווי־הניקוז פירש את המושג "עיקול מובהק" פירוש נכון.

מיפוי שלושת האגנים, כל אחד בשני קני־המידה*, מובא בציורים 2—4. ההשוואה נערכה בין הגורמים הבאים: דרגות הנחלים; שיא האגן, שפכו ותחום הגובה שלו; אורך רשת הניקוז; שטח הניקוז; שטח האגן; צפיפות

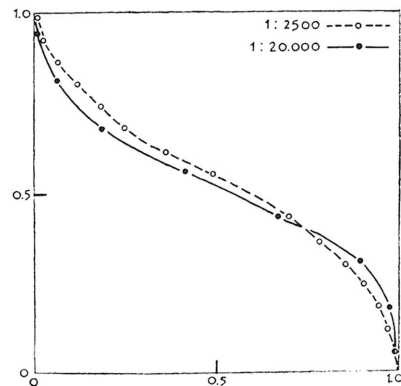
* מסיבות טכניות הוקטנו מפות 1:2,500. בציורים 2—4 הועתק רק כל קר־גובה חמישי.



ציור 4
א ג נ



ציור 3
א ג נ



ציור 2
א ג נ

ציורים 2-4: מדגמי אגני-הניקוז והשוואה בין העקומות ההיפסומטריות.

הניקוז; מקדם המעגליות של האגן; האינטגרל ההיפסומטרי. בחירת הנתרנים מבוססת על מחקרים קודמים⁵.

ה ת ו צ א ו ת

התוצאות המפורטות של ההשוואה בין נתוני מפת 1:20,000 לבין אלה של מפת 1:2,500 מובאות בנספח. השוואה בין העקומות ההיפסומטריות מובאת בציורים 2—4. להלן טבלה מסכמת של תוצאות ההשוואה בין המשתנים המדודים והמחושבים:

סיכום תוצאות ההשוואה בין המשתנים המורפומטריים

במפות 1:20,000 ו־1:2,500 *

האגן	אורך רשת הניקוז	שטח אגן הניקוז	צפיפות הניקוז	מקדם המעגליות של האגן	האינטגרל ההיפסומטרי
1	—18.8	—1.1	—17.8	—8.9	+3.9
2	—12.1	—2.1	—10.5	—3.7	+0.9
3	—2.5	—3.1	—0.9	—14.0	+5.6
	—11.1	—2.1	—9.7	—8.9	+3.5

* המספרים מציינים את השינוי (באחוזים) שיש להכניס בנתוני מפת 1:20,000, על־מנת לקבל ערך מציאותי.

מן העיון בטבלה עולה, שבמפת 1:20,000 ערכיהם של האספקטים הקווים של רשת הניקוז — הבאים לידי ביטוי באורך הרשת ובמקדם המעגליות — גבוהים בעשרה אחוזים, בערך, מן הערכים שבמציאות. שטח האגן, לעומת זה, שווה, למעשה, בשני סוגי המפות. כתוצאה משתי עובדות אלה קיימת גם בצפיפות הניקוז, שהיא צירוף של אספקט קווי ואספקט שטחי, סטייה של 10%, בקירוב. מבחינת הנפח (האינטגרל ההיפסומטרי) ערכי מפת 1:20,000 קרובים מאוד למציאות. ניתן להסביר את הדבר בכך, שבשני סוגי המפות יש זהות בין שטחי האגנים ואף קיימת התאמה בין תחום גביהם (וראה נספח, טבלאות 5—12).

דיון משווה

מספר הנחלים ואורך רשת הניקוז

ההבדלים הגדולים, יחסית, בין המפה הטופוגראפית והמפה הפוטוגראמטרית נובעים בעיקר מחוסר־דאות בדבר קיומו או אי־קיומו של קו־רזימה במקום זה או אחר. אמנם קיים חוסר־דאות כזה בשני סוגי המפות, אבל הוא גדול יותר במפה הטופוגראפית. מסיבה זו אי־אפשר להסתמך רק על המפה הטופוגראפית כאשר המדובר בנחלים מדרגה ראשונה. אף נחלים מדרגה שנייה מעוררים קשיים, שכן אצל נחלים כאלה ארכו הכולל של יובל מדרגה ראשונה עדיין גדול בהשוואה לארכם הכולל של קווי הניקוז. סיבה נוספת לאי־דיוקים הם הקשיים המתעוררים בקביעת הדירוג. למשל: לפי המפה הטופוגראפית נחל 3 הוא נחל מדרגה שנייה, בעוד שלפי המפה הפוטוגראמטרית אחד מיובליו, שהוא לפי המפה הטופוגראפית מדרגה ראשונה, מזדלג סמוך לפרשת־המים (וראה ציור 4). על־סמך המפה הפוטוגראמטרית יש להעלותו אפוא לדרגה 3.

אפילו כאשר מספר הנחלים שווה בשתי המפות, אין הכוונה תמיד לאותם הנחלים. כך, למשל, זהה רק יובל אחד משני יובליו של נחל 2 (וראה ציור 3), בעוד שהשני שונה בשתי המפות. מכאן, שיש מידת־מה של קומ־פנסאציה, אף־כי לא תמיד. למשל: במפה הטופוגראפית יש שלושה יובלים מדרגה ראשונה, ואילו במפה הפוטוגראמטרית — שניים בלבד (ציור 2).

אחת המסקנות הנובעות מדיון זה היא, שרצוי לבדוק אגנים מדרגה שלישית, לפחות. נתונים המבוססים על קווי של אגן מדרגה שלישית לא ישתנו בהרבה, יחסית, אם יתוסף או יחסר יובל מדרגה ראשונה, ואף יחס הסיעוף לא יושפע במידה יתירה. במקרה של תוספת יובל אחד, השגיאה המאכסימאלית היא 0.11 (2.11 לעומת 2.00), כלומר, הפרש של כ־5%*.

מסקנה שנייה היא, שרשת הניקוז בשלושת האגנים שנבדקו — בהנחה, שהיא זהה עם מפת 2,500 : 1 — קצרה במציאות מזו שסומנה במפות 20,000 : 1.

* זאת כאשר הגדרת יחס הסיעוף הוא: $B = (n_2 \sqrt{n_1})^{\frac{1}{2}}$. B = יחס הסיעוף באגן מדרגה שלישית; n_2 = מספר היובלים מדרגה שנייה; n_1 = מספר היובלים מדרגה ראשונה. הגדרה שונה לא תשנה את תחום השגיאה אלא במעט.

מן הראוי לציין, שאפילו באגן 3, שהוא, לפי מפת 1:2,500, מדרגה שלישית, יש הפרש שלילי, אף־כי קטן יותר (2.5% בלבד; וראה טבלה 3). הואיל וערכי השטח בשתי המפות שווים — יפה מסקנה זו גם לגבי צפיפות הניקוז. יש בכך משום סתירה לדעה המקובלת⁴, לפיה צפיפות הניקוז גדלה ככל שהמפה מפורטת יותר. ייתכן, שבמחקר נוסף יימצא, שבנקודה זו יש הבדל בין אקלים לח, שעליו חל כלל זה, לבין אקלים לח־למחצה—צחיח־למחצה. באותו כיוון ניתן להסיק מסקנה נוספת, בעלת משמעות מורפולוגית. מן העיון במפת 1:20,000 מתקבל הרושם, כאילו קיימים עמקים זוויתיים למדי. הדבר נעשה על־מנת שייראו עמקים אלה בנושאי קו־זרימה מרוכז, אף־כי במציאות אין קו כזה. במלים אחרות: זרימה בלתי מרוכזת במדרונים נפוצה יותר מכפי שמסתבר מן העיון במפה הטופוגראפית.

ש ט ח א ג נ ה נ י ק ו ז

ההפרש בתוצאות ההשוואה בין שני סוגי המפות הוא קטן, ויש לייחס לו משמעות מקרית בלבד. התוצאות מעידות על מהימנותם הרבה, יחסית, של קווי־הגובה (הקובעים את פרשות־המים) במפה הטופוגראפית.

מ ק ד מ ה מ ע ג ל י ו ת

בעקבות הפיתולים היתירים בקו פרשת־המים שבמפה הפוטוגראמטרית, גדול היקפו של קו זה מן הקו המוכלל והחלק שבמפה הטופוגראפית. היות והשטח שווה, למעשה, בשני סוגי המפות, מסתבר, שהירידה במקדם המעג־ליות היא תוצאה של הגדלת פירוט המפה. זו אחת הסיבות, שבניתוח עצמו, המבוסס על הבדיקה המפורטת של המהימנות¹, נבדקה צורת אגני הניקוז לא בעזרת מקדם המעגליות, אלא בעזרת קבוע הלמניסקטה⁴. קבוע זה איננו פונקציה של ההיקף, אלא של שטח האגן ושל ארכו המאכסימאלי, נתונים שבדיוק מדידתם במפת 1:20,000 אין כל יסוד להטיל ספק.

ת ח ו מ ה ג ו ב ה ו ה א י נ ט ג ר א ל ה ה י פ ס ו מ ט ר י

כפי שצוין, האינטגראל ההיפסומטרי, המחושב על־סמך מפות 1:20,000, הוא מהימן. אם יש שינויים קטנים — מקורם בהבדלים בתחום הגובה ובביון. ההבדל הגדול ביותר באגנים שנבדקו הוא 3 מ' (נחל 3), שהוא פחות מ־3%. יש להניח, שסיבת הדבר בהבדל האבסולוטי, ולכן באגנים מדרגה שלישית ומעלה מן ההכרח, ששיעור הטעות ילך ויקטן.

מסקנות

התוצאה הכללית של הבדיקה המשווה בין כמה משתנים גיאומורפולוגיים במדגם של שלושה אגנים מדרגה שנייה במפות טופוגראפיות ופוטוגראפיות מטריות היא, שניתוח כמותי של אגנים מדרגה שלישית ומעלה הוא מהימן, בדרך-כלל. קרוב לוודאי, שתחום השגיאה שיש לצפות לו בניתוח כזה אינו עולה על 10%.

הבדלים בין אזורים שונים עשויים לפעמים להיות תוצאה של הבדלים במיפוי, ולא של הבדלים במציאות. עם זאת ייתכן, שבמציאות יהיו ערכים שונים בין אזורים שונים, בעוד שבמפה אין הדבר בא לידי ביטוי. לביטול השפעתם של אי-דיוקים במיפוי נודעת חשיבות רבה במחקרים מעשיים, כגון חיזוי זרימות-השיא באגנים על בסיס משתנים גיאומורפולוגיים⁶.

דלות הסיקור של איזור הבדיקה על-ידי המפות הפוטוגראמטריות גרם, שהמדגם קטן ואיננו מאפשר ניתוח סטטיסטי יסודי של השאלה, באיזו מידה קרובה המפה הטופוגראפית למציאות מבחינת הניתוח הגיאומורפולוגי הכמותי. אולם נראה, ששיעור ההתאמה תלוי במידה רבה הן בדרגת האגן והן באיזור. לפיכך הכרחי, שלפני כל ניתוח גיאומורפולוגי כמותי תיבדק כשרות המפה לתכלית זו, בדומה לבדיקה המפורטת שנערכה כאן.

א. ש י ק

נספח

נתונים משווים על שלושה אגנים במפות טופוגראפיות ופוטוגראמטריות
(כל נתון בטבלאות 3—5 הוא ממוצע של 2—4 קריאות)

ט ב ל ה 1

מספר הנחלים לדרגותיהם

נחל 3		נחל 2		נחל 1		
1 : 2,500	1 : 20,000	1 : 2,500	1 : 20,000	1 : 2,500	1 : 20,000	
						מספר הנחלים
6	6	2	2	2	3	מדרגה ראשונה *
						מספר הנחלים
2	1	1	1	1	1	מדרגה שנייה
						מספר הנחלים
1	—	—	—	—	—	מדרגה שלישית **
* משני הנחלים שבטור השני רק אחד זהה ; מששת הנחלים שבטור השלישי						
אחד אינו זהה.						
** מזלוג קטן בראש אחד היובלים גורם להעלאת הדרגה ; אורך כל יובל במזלוג						
זה הוא כ־150 מ'.						

ט ב ל ה 2

תחום הגובה של האגן (במטרים)

נחל 3		נחל 2		נחל 1		
1 : 2,500	1 : 20,000	1 : 2,500	1 : 20,000	1 : 2,500	1 : 20,000	
86	86	135	135	116	116	שפך האגן
105	102	101	101	80	79	תחום הגובה

ט ב ל ה 3

אורך רשת הניקוז (בקילומטרים)

ההפרש	1 : 2,500	1 : 20,000	
—18.8%	2.60	3.20	נחל 1
—12.1%	1.45	1.65	נחל 2
— 2.5%	4.48	4.59	נחל 3

התאמת המפה הטופוגראפית של ישראל

ט ב ל ה 4

היקף אגן הניקוז
(בקילומטרים)

ההפרש	1 : 2,500	1 : 20,000	
+4.5%	5.81	5.56	נחל 1
+0.9%	3.23	3.20	נחל 2
+6.0%	5.96	5.62	נחל 3

ט ב ל ה 5

שטח האגן
(בקילומטרים מרובעים)

ההפרש	1 : 2,500	1 : 20,000	
—1.1%	1.405	1.42	נחל 1
—2.1%	0.474	1.484	נחל 2
—3.1%	1.536	1.585	נחל 3

ט ב ל ה 6

צפיפות הניקוז
(ק"מ/מ"קמ"ר)

ההפרש	1 : 2,500	1 : 20,000	
—17.8%	1.85	2.25	נחל 1
—10.5%	3.06	3.41	נחל 2
— 0.9%	3.43	3.45	נחל 3

ט ב ל ה 7

מקדם המעגליות של האגן

ההפרש	1 : 2,500	1 : 20,000	
— 8.9%	0.525	0.576	נחל 1
— 3.7%	0.570	0.592	נחל 2
—14.0%	0.541	0.630	נחל 3

א. ש י ק

ט ב ל ה 8

האינטגרל ההיפסומטרי (באחוזים) והפרשי הגבהים (במטרים)

הפרש הגובה בשפך בשיא		ההפרש	1 : 2,500	1 : 20,000	
+1	+1	+3.9%	53.3	51.3	נחל 1
0	0	+0.9%	49.45	49.0	נחל 2
0	+3	+5.6%	51.1	48.4	נחל 3

ב י ב ל י ו ג ר א פ י ה

1. א.ש.ק., גיאומורפולוגיה של חבל מנשה, עבודת דוקטור, ירושלים 1962.
2. R. J. Chorley, Climate and Morphometry, *Jour. Geol.*, 65, 1957, pp. 628—638.
3. R. J. Chorley, Group Operator Variance in Morphometric Work with Maps, *Am. Jour. Sci.*, 256, 1958, pp. 208—218.
4. R. J. Chorley, D. E. G. Malm & H. A. Pogorzelski, A New Standard for Estimating Drainage Basin Shape, *Am. Jour. Sci.*, 255, 1957, pp. 138—141.
5. V. C. Miller, *A Quantitative Geomorphic Study of Drainage, Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area*, Virginia and Tennessee, Dept. Geol., Columbia Univ., New York, Tech. Rep., 3, 1953.
6. M. E. Morisawa, Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian Plateau, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 73, 1962, pp. 1025—1046.
7. A. P. Schick, The Aviel Depression — A Fossil Sinkhole? *IEJ*, 13, 1963.
8. A. N. Strahler, Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis, *Am. Jour. Sci.*, 248, 1950, pp. 673—696, 800—814.
9. A. N. Strahler, Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, *Tr. Am. Geoph. U.*, 38, 1957, pp. 913—920.