

הפיתולים של הירדן *

מאת
יצחק שטנר
(סקירה ראשונה)

מבוא

בשום שטח אחר של הגיאומורפולוגיה החדשה לא חלה התקדמות כזאת כמו במחקר של ה"מיאנדרים החופשיים" (free meanders, סידרות פיתולי נהר בתוך עמקים אלוביאליים), ושל תנאי התהוותם והתפתחותם. החקירות, שבוצעו בחלקן הגדול במעבדות הידרולוגיות של ארצות שונות, העלו שקיימים חמישה גורמים עיקריים להתהוותם של המיאנדרים החופשיים:

א. מידות השפוע של העמק; ב. כמות וטיב הטעונת (river load) המועברת על ידי הנהר; ג. כוח העמידה של קרקעית האפיק ושל גדותיו בפני הסחיפה; ד. כמות מי הנהר ותנודותיה; ה. האוסצילאציות של מי הנהר בכיוון מאונך ואלכסוני לכיוון של קו הזרימה במקום. חמשת הגורמים האלה משולבים בפעולותיהם ותלויים זה בזה עד שאין להפריד ביניהם במציאות.

לגבי הירדן חשובה עוד הכרת העובדות הבאות: א. ככל שהטעונת של הנהר עשירה יותר בחומר חולי דק-הגרגר, כן הולך וגובר ההכרח של התהוות מיאנדרים; ב. התהליכים היוצרים את המיאנדרים ומגבירים ומפתחים אותם וגם המעצבים את גדותיהם הקשתיות—הן הגדות הזקופות שבהן שליטים תהליכי הסחיפה (undercut slopes) והן הגדות השפועות ממולן (slip off slopes), שבהן שליטה הצבירה של החומר הנגרף (לוח א', 1) — אינם מצומצמים לזרם העלי הלאמינרי בלבד. בתהליכים אלה פעילות בהרבה יותר הזרימות והתנועות המערבליות המתהוות מתחת לפני הנהר ומעצבות במידה רבה את קרקעיתו של האפיק. ההתמוטטות של הגדה הזקופה אינה נגרמת על ידי פעולות שחיקה (corrasion) וכוח המים הזורמים היוצרים צנירים בשחקם את הבסיס של הגדה. ההתמוטטות הזאת היא תוצאה של יצירת שקעוריות ומדוכות בקרקעית האפיק של הנהר בקירבת הקטע הקעור ביותר של הגדה הזקופה. המדוכות האלו הן המערערות את שיווי המשקל של קיר הגדה, גורמות לגלישה של חלקיו הקידמיים לתוך הנהר וגורמות להרס תוך מפולת, גלישה וכו' של חלקי הגדה הזקופה שלרגליה נוצרה המדוכה. כתוצאה מכך נסוגה הגדה הזקופה אחורה במשך כל הזמן שהזרימה בפיתול יוצרת שקעוריות מעין אלה בקרקעית האפיק [2, 3, 4, 7, 9].

(* על פי הרצאה בסימפוזיון הגיאוגרפי, שנערך מטעם האוניברסיטה ב-14

הנתונים ההידרוגרפיים

המרחק בקו אוירי בין ים כנרת לבין ים המלח הוא 105 ק"מ בקירוב. המרחק לאורך קו הזרימה (לפי מפות 1:20,000, מהדורה ישנה) כ־223 ק"מ. היחס בין שני המרחקים הנ"ל, המראה גם את השכיחות של המיאנדרים, הוא, איפוא, 1:2. שטח גליל הניקוז הוא 13.600 קמ"ר. שפוע העמק (gradient) הוא 1.79‰ . השפוע של האפיק: 0.80‰ . השפוע של העמק הוא איפוא גדול מאד ובתנאים אחרים, ובפרט בתנאים של אקלים הומידי, לא היה מאפשר יצירתם של מיאנדרים, על אחת כמה וכמה בעלי דגם כה מסובך. כן גם הגראדיינט של האפיק בעצמו עדין תלול מאד ביחס בכללו, אף על פי שבמציאות הוא מתחלק לסגמנטים בעלי שיפוע שונה ומופיעים בו אפילו "פרקים" (knickpoints) רבים. התנודות העונתיות בכמות מי בשנת 1928: 213.1 מ³ לשניה (פברואר), 12.7 מ³ לשניה (ספטמבר). מאז הקמת הסכר הנהר הן עצומות: בשנת 1927: 130.5 מ³ לשניה (פברואר), 8.6 מ³ לשניה (דצמבר); במוצא הירדן על יד דגניה חל כמובן איוון רב בתנודות אלו. מהירות זרם הנהר גדולה מאד: 1.37 מ' לשניה במצב של שפל, 1.69 מ' לשניה במצב בינוני, והרבה יותר בגאות שטפונות של הנהר * [5].

הטעונת של הירדן

כידוע יצר לו הירדן "עמק בתוך עמק" בחותרו בשכבות של ימת הירדן הפליסטוקנינית, לרבות השכבות של סידרת הלשון. החמרים הבונים את הסידרה הזאת הם חווארים חרסיתיים המלוכדים ליכוד קל ביותר וניתנים בקלות לפירור על ידי גורמים שונים, לסחיפה ולשטיפה. התנאים הארדיים של בקעת הירדן מגבירים את התהליכים האלה במידה חזקה ביותר.

הסיבות לכך הן:

א. חוסר כסות הצומח עקב היובש ומליחות הקרקע מביא לידי גריפת חומר רב ובמישרין לתוך הנהר על ידי שטף גשמים (rainwash) שהוא בעל אינטנסיביות רבה מאד באיזור זה.

ב. פריכות החומר וחוסר הגנה על ידי צומח גורמים להתהוות חרצות וערוצונים (gullies) לאין ספור בשפות העמק התלולות. בארץ אין בתרונות (badlands) מבותרים יותר מאלה אשר נוצרו ואשר מתפתחים והולכים בחוואר על יד הירדן. ג. עקב היובש ומידת ההתאדות היתירה נוצרים בשפה הזקופה, בחלקיה הקרובים ביותר לפאת המורד התלול, סדקי התכווצות ומיתוח, המקבילים לרוב לקשת הפיתולים. חומר רב עלול על ידי כך לגלוש לתוך הנהר אפילו לרגל סיבות זעירות ולהגביר באופן ניכר את הטעונת שלו.

ד. עקב היובש הרב, השיפוע של השפות הוא גדול בהרבה מהרגי בתנאים הומידיים ותהליכי עקירת הגושים מכל מיני סיבות וגלישתם לתוך מי הנהר בכח הגראביטאציה שכחים למדי.

* המחבר מביע את תודתו למר גולדשמיד מנהל השירות ההידרולוגי של מנהל המים שהעמיד לרשותו את כתב ידו, המובא ברשימה הביבליוגרפית.

ה. כיוון שהגשם יורד בפרקי זמן רחוקים זה מזה, אבל לעתים בחוזק רב, נרטבים רבדים חרסיתיים מסוימים שבתוך החוואר יותר מרבדים אחרים ונעשים חלקים. כשהשכבות נטויות אפילו נטיה קלה כלפי הנהר, גולשים גושי חומר ניכרים בעלי נפח גדול מעל גבי שכבות חרסיתיות אלה אל תוך הנהר.

ו. גם החומר המגיע לירדן על ידי נחלי האכזב הוא לרוב דק הגרגר, בגלל שבר-השיפוע (slope-break) בין מורדות ההרים התלולים, התוחמים במזרח ובמערב את הבקעה, לבין הככר של הבקעה השטוחה והרחבה. עדות חותכת לכך הם האפיקי פזרות (braided channels) של יובלים אחדים על יד שפכם לירדן.

ז. הרוחות בבקעה ובפרט מערבלי האבק השכיחים בחדשי הקיץ, הנעים בדרך כלל ממערב למזרח ופועלים בעיקר בסביבות הירדן, מוסיפים טעונת-מה לנהר [1].

ח. גם לרעידות האדמה השכיחות ביחס בבקעת הירדן יש בודאי חלק — אם כי ספוראדי למדי — בהספקת טעונת לזרם הנהר. רעידות האדמה עלולות למוטט את הגדות והקופות בהיקף רב ביותר ולשפוך חומר עצום לתוך אפיק הנהר. יש עדויות הסטוריות על סתימת זרימת הנהר, שברוב המקרים באה כתוצאה של רעידת אדמה [6]. טעונת מרובה כל כך, כשהיא לעצמה, כבר מטבעה יוצרת בדרך כלל תנאים המסייעים להתהוות פיתולים. ואם נביא בחשבון את הגראדיינטים התלולים כל כך, הן של הכיכר והן של האפיק, אין כמעט אפשרות אחרת כי אם לראות בטעונת זו גורם ראשי להתהוות המיאנדרים של הירדן.

הדגם והאופי של פיתולי הירדן

פיתולי הירדן אינם מחולקים במידה שווה לאורך כל אפיקו בין ים כנרת וים המלח. כמו כן אין פיתוליו שווים בגודל הראדיוסים שלהם ובצורתם לאורך כל המהלך המפותל, אף על פי כן ניכרים דגמים מסוימים בעלי חוקיות מסוימת. הקטע הצפוני של הירדן ממוצאו מים כנרת ועד כ־2 ק"מ דרומה משפכו של נהר קפרינגי אל הירדן, מצויין על-ידי מיאנדרים בראדיוסים גדולים ביחס (500 מ' ויותר) במבנה קשתות אסימטרי בהחלט ובפניות אנגולריות מאוד. בקטע זה מרובים ביחס חלקי אפיק ישירים ללא פיתול (reaches). הדגם הזה של המיאנדרים מיוסד כנראה בתנאים ליתולוגיים (שכבות-ביניים של חומר קשה יותר: בזלות וקונגלומרטים), בשיפועי האפיק החזקים והמשתנים לעתים קרובות, וכן במספר יובלים שביניהם מספר מכריע ביחס של נחלי איתן (ירמוך), הנשפכים לירדן משני צידי ברווחים לא גדולים. בקטע הבא (עד למישור הדלתה) המיאנדרים חוזרים בגולאריות גדולה ובמרחק כמעט שווה אחד ממשנהו. הראדיוסים שלהם כמעט אחידים; הם קצת יותר גדולים בחלק הקטע הצפוני — מקפרינגי ועד שפך הנחל יבוק (כ־250—300 מ'), מאשר בחלק הקטע הדרומי (כ־200 מ'). האסימטריות אינה בולטת כל כך בקטע זה כמו בקטע הצפוני. המיאנדרים הקטנים האלה מופיעים לעתים קרובות מקובצים, ו.א. כקשתות חלקיות קטנות בעלות גודל שווה של מיאנדר מורכב בהרבה יותר

ארוך. את האופי השונה הזה של המיאנדרים בקטע זה ובעיקר את הרגולאריות הגדולה של הדגם שלהם יש כנראה ליחס: א. לשיפוע האפיק המתון בהרבה מזה של הקטע הצפוני. ב. לנדירות יחסית של "פרקים" (knickpoints) באפיק, השכיחים כל כך בחלק הצפוני. ג. לעובי ולהומוגניות של החומר החווארי הגדלים והולכים כלפי דרום.

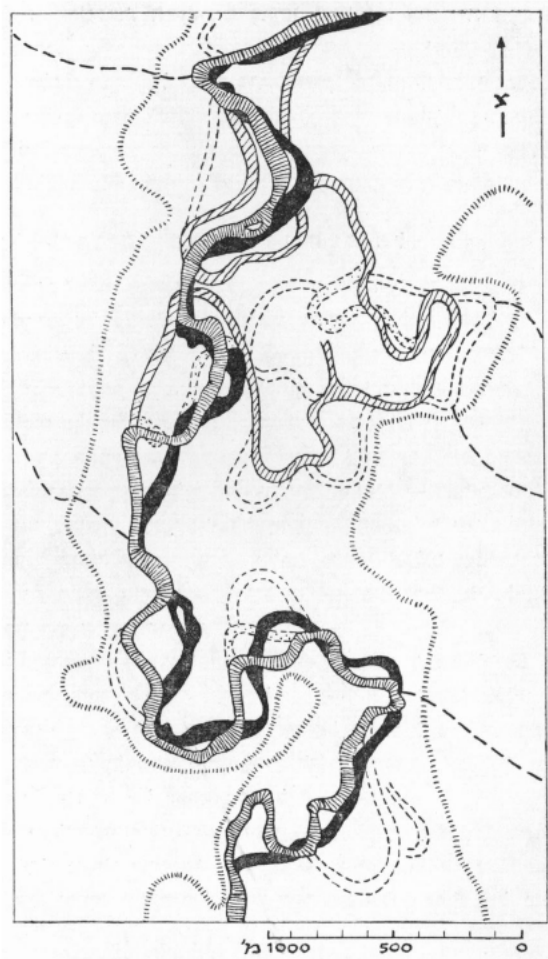
בכל זאת גם בקטע הדרומי המיאנדרים הם בעלי צורה "מופרעת" האופינית בכלל לכל פתולי הירדן.

חגורת המיאנדרים (meander belt) של הירדן.

ההפתעה הגדולה ביותר בירדן היא חגורת המיאנדרים שלו על תופעותיה האלוביו-מורפולוגיות, הנראות כה יפה בכל צילומי האויר של עמק הירדן. העמק שחתר לו הירדן הוא צר מאד. רוחבו הממוצע כ-1200 מ', אך לאורך מרחקים ניכרים מצטמצם רוחבו ל-500 מ' בממוצע, כגון באזור ההלך הישר (reaches) דרומה משפכו של ואדי מליח. במקומות אחדים קטן הרוחב פחות מ-200 מ'.

הרוחב רב יותר בקטע הצפוני של ככר הירדן. פאות העמק ניצבות בצורה של שפות זקופות הירדות בתלילות רבה אל קרקעית העמק. הפרש הגובה לבין פאתן העליונה לבין הקרקעית הוא בצפון 15–25 מ', בדרום עד ל-40 מ' ויותר. כל זה, יחד עם שטח ההצפה משני צדי הנהר, שרחבו משתנה לעתים קרובות עד מאד וש במקרים מסוימים הוא מצטמצם כמעט לאפס, מעיד על כך שחתירת הנהר היא צעירה ופעילה בכל תוקף גם בימינו. לפי אופיו של העמק והשינויים שחלים בו ובעיקר באפיקו נראה, שאין זה נהר שבו קיים שיווי המשקל בין דיגראדאציה ואגראדאציה (poised river) שמביא ליצירת המיאנדרים לפי ההשקפה המקובלת. הירדן הוא במצב של דיגראדאציה צעירה ופעילה ביותר, שתימשך עוד זמן רב ופיתוליו וצורות האגראדאציה השונות הכרוכות בהם, כגון שרטונות-טעונות, (point bars) הן לפי דעתי תוצאות של הטעונות המופלגת כל כך — עקב התנאים האקלימיים והליתולוגיים המיוחדים של בקעת הירדן.

בקרעית העמק, הכוללת את האפיק ושטח ההצפה, ניכרות כמעט כל התופעות הנוצרות כשנהר נאלץ להתפתל. הפיתולים העזובים (ר' ציור 3) אינם כנראה בעלי גיל רב ביותר, אחדים מהם מופיעים בצילומי אויר ממלחמת העולם הראשונה כחלקים אקטיביים של האפיק הנוכחי. גודלם, דגמם וצורתם של הפיתולים האלה אינם שונים מאלה של זמננו (לוח א', 2) הרוחב המועט ביחס של קרקעית העמק של הירדן מעיד ברורות לא רק על מצב של דיגראדאציה כי אם גם על כך שכמות המים שיצרה את העמק הזה היתה בעבר בערך שווה לזו של ההווה. מענינת גם העובדה שחל יישר-מה במהלכו של הירדן, ז. א. על ידי פריצות יישר הירדן והקטין את אורך מהלכו במקום של פתוליו המסובכים ביותר מבלי ליצור פתולים קומפנסאטיביים. בזה פחת גם במידת מה אורכו של האפיק בכללו. סיבת



ציור 3

קטע של עמק הירדן בסביבות כפר רוסין

קווי הצוקים מסמנים את מורדות העמק התלולים הגדורים את שטח ההצפה משני העברים, ההילוך הנוכחי של הנהר—שחור, המיאנדרים של שנות השלושים בקיווקו צפוף, הפיתולים הקדומים ביוהר בלבן, הצעירים יותר בניקוד ובקיווקו רווח. בשליש התחתון מראה קו הצוקים אחד מהמצרים של העמק

היישור הזה היא כנראה הסכר בדגניה (מאז 1932) והשמוש הרב במי הכנרת והירדן והירמוך לצרכי ההשקאה, המקטינים באופן ניכר את התנודות הקיצוניות מלפנים בזרימת מי הנהר.

לאורך חלקים רבים של העמק נדחה אפיקו של הנהר כלפי מערב, כגון מזרחה מאל-בוקיעה. אפיק הירדן עובר כאן לרגלי הרי שומרון המזרחיים הוא תחום בצלעות של סלע גיר. דבר זה נגרם בעיקר על ידי מניפות הסחף הגדולות יותר של היובלים מפאת ההרים המזרחיים, הגבוהים והגשומים יותר מאלה שבמערב.

בעית גיל התהוותו של הירדן המפותל

כפי שהוזכר לעיל מראה הירדן בצורתו הנוכחית כל הסימנים של אי-בגרות וצעירות. מעידים על כך לא רק הגרדיינט שלו הבלתי מאוזן כל כך והפרקים הרבים (knickpoints). באפיק, כי אם במידה בהרבה יותר מכרעת העמק שלו על שטח ההצפה שלו. בעמק זה הארוסיה לעומק עודנה נמרצת מאד ובשום פנים אינה נופלת מהארוסיה הלאטרלית. משום כך קרקעית העמק עדיין לא הפכה אפילו בחלקה למישור הצפה רצוף, שקירות-שפתותיו יימשכו לאורך המשיקים המחברים את ראשי הקשתות של המיאנדרים הפעילים המיאנדרים העזובים — דבר שקורה בכל הנהרות המתפתלים זמן ממושך יותר, כתוצאה מהעתקת הפיתולים ימינה ושמאלה ונדידת הפתולים מטה, לאורך מורד הנהר. צילומי האויר מגלים שבמקומות רבים עוד קיימות שלוחות רבות מאד בצורת דורבנים מוארכים ותלולים של השפה הזקופה, המפרידות בין הפיתולים החוזרים.

בכמה מקומות מצטמצמת קרקעית עמק הירדן כמעט לרוחב האפיק בלבד שעליו נוסף רק מספר מטרים קטן של שטח ההצפה והנהר נאלץ לכעין פריצת הדרך. "מצרים" אלה הם רובם בודאי תוצאה של תנאים ליתולוגיים מסוימים שעדיין לא נחקרו בשדה — אבל שלא היו מצויים לו היה הנהר קיים זמן ממושך בצורתו הנוכחית, ז. א. בתנאים של הכרח בפיתולים.

האופי הפלוביומורפולוגי של הירדן נותן להניח שעיצובו התחיל לפני זמן קצר ביחס, אולי אפילו בראשית התקופה ההסטורית של ארצנו. השערתי היא כי הסבה לכך היא ירידה ניכרת של בסיס הארוסיה שלו: הפלס של ים המלח.

רשימה ביבליוגרפית

- [1] אשבל ד.: אקלים ארץ-ישראל לאזוריה, ירושלים 1951
- [2] Baulig H.: Essais de Géomorphologie. Paris 1950.
- [3] Dury G. H.: Contribution to a General Theory of Meandering Valleys. Am. Jour. Sc. 252 (1954), pp. 193-224.
- [4] Fisk H.: Geological Investigation of the Alluvial Valley of the Lower Mississippi River. Harisburg 1944.

- [5] Goldschmidt M. J. — Zvi M. — Kornic D. The Flow of the Jordan River at Allenby Bridge. Jerusalem 1947 (Manuscript).
- [6] Kallner-Amiran D. H.: A revised Earthquake Catalogue of Palestine. IEJ, I (1950-1951) pp. 223-246, II (1951-1952) pp. 48-64.
- [7] Mathes G. H.: Basic Aspect of Stream Meanders. Am. Geophysical Union Transact. 1941, pp. 632-636.
- [8] Picard L.: Geologie des mittleren Jordantales, ZDPV 1932 pp. 169-239.
- [9] Russel R. J.: Alluvial Morphology. Rev. of the Geogr. Inst. Un. of Istanbul, 1954, pp. 28-49.
- [10] Schwoebel V.: Der Jordangraben, in: Zwölf Laenderkundliche Studien Breslau, 1921, pp. 117-188.

סטרטיגרפיה של אזורי הפוספאטים בנגב*

מאת

א. פרנס

שכבות פוספאטיות מופיעות בנגב בתצורות של תקופת הסינון, במיוחד בדרגות העליונות, תצורות אלו נחקרו על ידי בלאנקנהורן [1] ובלייק [7] ביהודה ובעבר-הירדן, על ידי פיקרד במחקריו הגיאולוגיים במדבר יהודה, ועל ידי בן-תור-פרומן בנגב [9]. בשאלת הסדר הסטרטיגרפי של השכבות הנושאות פוספאטים ושל תצורות הסינון בכלל נתגלו חילוקי דעות ניכרים. לרגל המיפוי הגיאולוגי של הנגב נאסף חומר פאליאונטולוגי שיש בו כדי להבהיר את הבעיות הסטרטיגרפיות העיקריות של הסינון בנגב.

סדר הדרגות בסינון של הנגב מסובך למדי בגלל התפתחות שונה והתחלפות תכופה של הפרצופים בתוך אופקים סטרטיגרפיים שווים מצד אחד, ומצד שני בגלל חזרות ליתולוגיות ופרצופיות באופקים סטרטיגרפיים שונים. במסיבות דומות הגיע י. ל. פיקרד [6] לחלוקה של האופקים הסינוניים במדבר יהודה לדרגות. הוא מבדיל מעל לגיר הקירטוני "קעקולה" והקירטון עם שלהבות, שנמנים עם הסאנטון, את האזורים הבאים (מובאים המאובנים הדיאגנוסטיים במידה מספקת לפי פיקרד):

(1) איזור עם:

Spinapytychus picardi Trauth
Nucula tenera Müller
Schloenbachia (? *Mortoniceras*)

* לפי הרצאה בכנס החברה הגיאולוגית הישראלית, 2 במרס 1955.

לוח א'



ציור 1. צילום קרקע של הירדן בעמק בית שאן.



ציור 2. צילום אוויר של קטע הירדן דרומה מבית יוסף משנת 1944. (למאמרו של י. שטרן)