

”שופרי פירות עוברין עד צוארן במים ואין חוששין” (יופא עז, ב)

גאומטריה הידרולוגית

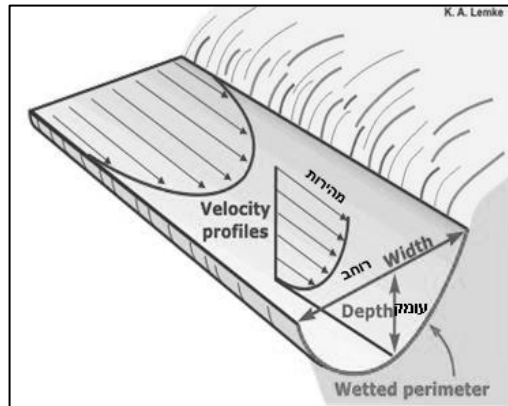
שילוח היה מקלח מים בכאיסר צוה הפלך והרחיבוהו כדי שיתרבו מימיו ונתמעטו וחדרו ופיעטוהו והיה מקלח מים (ערכין 1, ב) (ראה פרק "סתם מי גיחון העליון"). מעיין השילוח (הגיחון) הזרים מים, ורוחב הנביעה היה כאיסר (מידה לפי גודל מטבע). המלך חשב להרבות את הספיקה בהרחבת הנביעה אך אז ירדה מהירות הזרימה, ולכן חזרו והצרו וחזרו המים "לקלח".

ספיקה היא כמות המים העוברת חתך נתון ביחידת זמן. יחידת הזמן יכולה להשתנות לצורכי הדיון. יש שישאלו כמה מים זורמים בשנה מהירדן לים המלח ואזי יחידות המדידה הן נפח/שנה. לעומת זאת, יש שישאלו כמה מים עברו בירדן ביום השיטפון החזק ואזי היחידות הן נפח/יום. וכמובן יש שיעמדו על שפת הירדן ברגע נתון וישאלו מהי הספיקה עתה, והיחידות הן נפח/שנייה.

הספיקה (מ"ק/שנייה) היא מכפלת שטח החתך (מטר²) במהירות (מטר/שנייה) $Q=A V$
כאשר: ספיקה=Q, שטח חתך=A, מהירות=V.

שטח החתך = עומק (D) X רוחב (W) $A=W D$

ולכן הרחבת חתך הזרימה תקטין את עומק הזרימה ואת המהירות (איור 41).



איור 41: הדגמה של רוחב, עומק ומהירות הזרימה בנהר.

נראה כאן כי המהירות משתנה בין הגדות למרכז הנהר והן מהקרקעית לפני המים.

לכן אנו דנים בערכים ממוצעים של רוחב, עומק ומהירות

(Muhammad, Yusof, Mustafa, & AB. Ghani, 2015, p. 2)

"נשאו נהרות קולם": סוגיות בהידרולוגיה תלמודית

אך יש סברה כי "מים כאיסר" היא מידה של ספיקה, כמות מים שאפשר לקנות באיסר, המובן ההידרולוגי דומה.

"שופרו פירות עוברין עד צוארן במים ואין חוששין" (יופא עז, ב)

המידע על המשתנים של הגאומטריה ההידראולית מאפשר את הבנת הגמרא במסכת יומא. בדיון על חציית נהר ביום כיפור הגמרא מעלה ארבע דעות לעומק המים שבו אפשר לעבור בלי הסתכנות.

דעה א': תנו רבנן: ההולך להקביל פני אביו או פני רבו, או פני מי שגדול ממנו, עובר עד צוארו במים ואינו חושש, וכן: שומרי פירות עוברין עד צוארן במים ואין חוששין.

דעה ב': מתקיף לה רב יוסף: ובחול כי האי גונא מי שריי (וכי ביום חול מותר לעבור בעומק כזה)? והכתיב (יחזקאל מז 3) וַיִּמְד אֶלֶף בְּאַמָּה וַיַּעֲבְרֵנִי בַּמַּיִם מִי אֶפְסָיִם – מכאן שמותר לעבור עד אופסיים (עד הקרסוליים).

דעה ג': וַיִּמְד אֶלֶף וַיַּעֲבְרֵנִי בַּמַּיִם מִיִּם בְּרַכָּיִם (יחזקאל מז 4) – מכאן שמותר לעבור עד ברכיים.

דעה ד': וַיִּמְד אֶלֶף וַיַּעֲבְרֵנִי מִיִּם מְתַנָּיִם – מכאן שמותר לעבור עד מותניים.

(מדידה מדגמית של כותב שורות אלה: הגובה עד מעל לעצם הערקום [הקרסול] – 14 ס"מ; גובה הברך – 50 ס"מ; גובה המותניים – 90 ס"מ; גובה הצוואר – 140 ס"מ).

נתאר קטע לאורך נהר שבו הספיקה לא משתנה, אין יובלים שנכנסים לאורך הקטע, אין מעיינות ואין שאיבות או הטיות בידי אדם.

בקטע זה הספיקה היא $Q = V W D$

ספיקה = רוחב X עומק X מהירות

במקרה המדובר הספיקה קבועה, ולכן אם נניח רוחב אחיד, השינוי הוא רק בעומק ובמהירות. מקום שבו העומק הוא עד הצוואר (140 ס"מ) והמהירות היא 10 ס"מ/שנייה הספיקה תהיה שווה למקום שבו הגובה הוא עד קרסוליים (14 ס"מ) ובמהירות היא 100 ס"מ/שנייה, ומכאן ברור שדעות חכמים לוקחות בחשבון את מהירות הזרימה כגורם מסכן.

כמובן ששינוי מהירות זה נובע משינוי השיפוע בנחל.

מדידת ספיקה

בסיפור המופיע בתוספתא (תעניות פ"ב), ניתן סימן במדידת עומק המים לזמן שבו מפסיקים להתפלל על הגשמים: "צאו וראו, אם עומד אדם בקרן אפל ומשקשק את רגלו בנחל קדרון, אנו מתפללים שלא ירדו גשמים".

נראה שהכוונה לקרן העופל בירושלים, והמצב המתואר הוא שתהיה גאות יוצאת מהרגיל בנחל קדרון. הסימן הזה הוא סימן טופוגרפי הגיוני הממחיש היטב מאוד את הקשר שבין הגשם לספיקה.

מיכה קליין

במסכת שבת (קח, א) מסופר: "שמואל וקרנא היו יושבים על שפת נהר מלכא. ראו את מי הנהר שהיו גליים ועכורים". בזמן שיטפון מהירות הזרימה גדלה, ולכן יכולת הנהר לסחוף ולהסיע סדימנט (= סחף) גדלה בהרבה. אנו מכירים זאת בכך שבזמן שיטפון המים עכורים יותר.

על מדידות הספיקה בעת העתיקה אנו לומדים מהנילומטר המשובץ באבני הפסיפס בציפורי, שמדדו בו את הגובה ותרגמו גובה מים לספיקה בדומה לתחנות הידרולוגיות בימינו (איור 42).



איור 42: הנילומטר בציפורי
(Almog, 2009)

מעיין שהוא משוך כנדל (מקוואות ה, ג)

מַעְיָן שֶׁהוּא מְשׁוּךְ כְּנַדָּל, רָבָה עָלָיו וְהַמְשִׁיכוֹ, הָרִי הוּא כְּמוֹ שֶׁהָיָה. הֵיךְ עוֹמֵד וְרָבָה עָלָיו וְהַמְשִׁיכוֹ, שְׂוֵה לְמַקְוֵה לְטַהַר בְּאַשְׁפָּרָן, וְלַמַּעְיָן לְהַטְבִּיל בוֹ בְּכָל שָׁחָא.

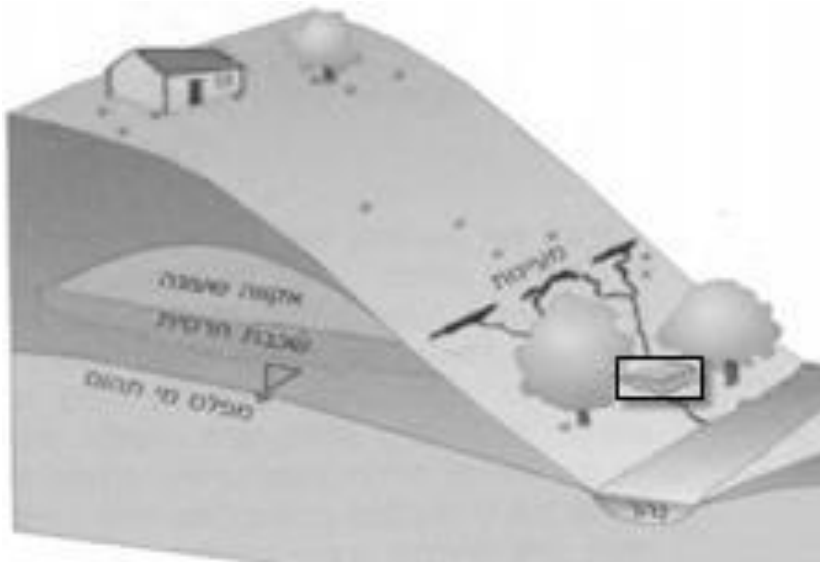
פירש הברטנורא "שמימיו זוחלים במקומות הרבה, כשרץ זה שמרבה רגלים".

מעיין שהוא מושך כנדל הוא פסק יסודי בהלכות מעיין. אדמו"ר הצמח צדק התיר טבילה במעיינות שיש בהם גם מי גשמים. לא אדון כאן בכל הדיון ההלכתי להתיר או לפסול את המעיין "המשוך כנדל", אלא רק אתאר את אופיו.

מעיין קטן הנובע כפכפוך מים על גבי מי התהום במקרים רבים באקוויפר שוען (איור 43), הרי מקום הנביעה הוא לא נקודה, אלא קו שלאורכו מפכפכים המים ונוצרים כמה קווי זרימה במורד המעיין. לעיתים האדם מרכז את קווי הזרימה האלה לבריכה, ואז בריכה זו מקבלת

"נשאו נהרות קולם": סוגיות בהידרולוגיה תלמודית

את מימיה גם ממי המעיין שהם זוחלין, וגם ממימי גשם ישיר שהם נוטפין, ולכן עולה הבעיה של טבילה בבריכה כזו.



איור 43: הבריכה שמנקזת את המעיין המשוך כנדל
(גבירצמן, 2000, עמ' 110)

מקורות

גבירצמן, ח' (2002). *משאבי המים בישראל: פרקים בהידרולוגיה ובמדעי הסביבה*. ירושלים: יד יצחק בן צבי.

Almog (2009). *Nilometerzippori* [Image]. Retrieved from <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nilometerzippori.jpg>

Muhammad, M. M., Yusof, K. W., Mustafa, M. R., & AB. Ghani, A. (2015). Vegetated open channel flow for urban stormwater management: A review. In *E-proceedings of the 36th IAHR World Congress: Deltas of the future and what happens upstream*. The Hague, the Netherlands. Retrieved from http://www.academia.edu/26976014/VEGETATED_OPEN_CHANNEL_FLOW_FOR_URBAN_STORMWATER_MANAGEMENT_A_REVIEW