

חידושים בארכיאולוגיה של ירושלים וסביבותיה

קובץ מחקרים

עורכים:

אורית פלג־ברקת, יחיאל זלינגר
יובל גדות ויפתח שלו

תוכן עניינים

7	בפתח הקובץ
13	הפעילות הארכאולוגית והשימורית במרחב ירושלים בשנת 2023 יפתח שלו ויוסי וקנין
53	הכותל הדרומי של מתחם הר הבית ומערכת הדרכים שהובילה לשעריו יובל ברוך, נבות רום, איילה זילברשטיין, הלן מכלין, ורוני רייך
מים חיים	
77	אמת המים העליונה לירושלים לאור החפירות בגבעת המטוס (ח'ירבת טבליה): מבט מחודש רותם כהן ועפר שייאון
97	מנהרות חוצות־רכס באמות המים לירושלים: מורפולוגיה, טכנולוגיה, גיאולוגיה והצעה לכונוולוגיה יחסית עזריאל יחזקאל
129	זורמים אבל לאן?: יעדיהן של אמת המים התחתונה ואמת המים העליונה לירושלים דויד גורביץ'
תחת שלטון הסולטנים	
157	תרבות היין בתקופה האסלאמית הקדומה: מבט מירושלים יסמין סגנו וברק מוניקנדס־גבעון
187	ההתפתחות העירונית של ירושלים בתקופה הממלוכית - ראשית התקופה העות'מאנית: השכונות הצפוניות מיכאל טשרנין, זובייר עדוי ויבגני קגן
7*	רווח נקי: מבט ארכיאולוגי על בעלות זכויות שימוש בקרקע סביב ירושלים בתקופות הממלוכית והעות'מאנית עומר זאבי־ברגר, ניצן בן־מלך, בתיאני ווקר, נעמי פורת, ויובל גדות
217	לילות של נפט: על תאורה ונאורות בירושלים העות'מאנית אבנר וישניצר
255	קווי דמיון ושוני בין מעוזי הצלבנים (המאות הי"ב-הי"ג) למצודות הטיגארט הבריטיות (המאה הכ') לאורך הדרכים מהשפלה לירושלים יוספי דיטל, אורן טל ורפי לואיס

חידושים במחקר הר ציון

- 289 "אבן מאסו הבונים" (תהלים קיח:22): פריטי עיטור אדריכלי מימי הבית השני
מחפירות מורדות הר ציון
אורית פלג-ברקת ויחיאל זלינגר
- 27* הקנבה (ישוב אזרחי) של הליגיון העשירי בהר ציון, ירושלים
יחיאל זלינגר ומריון זינדל
- 47* כמו בקתה בשדה? ניתוח מחודש של הר ציון בתקופה הרומית המאוחרת
ג'ניפר צ'ימני-ג'טלר ודיטר ווייגר
- 63 * שחזור כנסיית האגיה ציון הביזנטית והירשת הצלבנית סנטה מריה: תובנות
חדשות מחפירות ארכיאולוגיות שנערכו בהר ציון במאה הי"ט – כ'
שמעון גיבסון

התמונה הגדולה: ללמוד על ירושלים באמצעות מאגרי מידע

- 319 קורפוס חותמות הטביעה מדרום הלבנט: הצגה ראשונית, מקרה מבחן מירושלים
והזמנה להצטרף לקהילה
עידו קור
- 341 השוואה כמותית בין הממצא מתקופת הברזל ב'ג' – ג' מעפר הר הבית לבין אתרים
נוספים בירושלים
יצחק שמעון דבירה (צויג), גבריאל ברקאי והלל ריצ'מן

המדבר של העיר הקדושה

- 387 מדבר יהודה בתקופת הברזל המאוחרת: מבט מעין גדי
אברהם משיח
- 103* "דרך המדבר הלבן של הבוקיעה": תוצאות ראשוניות מעונות הביכורים של החפירות
הארכיאולוגיות בחורבת הורקניה
מיכל הבר ואורן גוטפלד
- 409 זמן של הכתובות במערת אל-עליליא (נחל מכמש): ניתוח פליאוגרפי
אסף גייער, שי הלוי ובוועז לנגפורד

תקצירים באנגלית

131 *

מנהרות חוצות־רכס באמות המים לירושלים: מורפולוגיה, טכנולוגיה, גיאולוגיה והצעה לכרונולוגיה יחסית

עזריאל יחזקאל

מבוא

תהליך התכנון של אמת מים החל תמיד מהיעד – העיר, אל המוצא – מקור המים, שהיה תמיד בנקודה גבוהה יותר מהיעד (Matthews 1970). מהתקופה הרומית ואילך, היה הליברטור (*librator*) אמן על תכנון אמת המים, והוא הוכשר לרוב על ידי הצבא הרומי (Cuomo 2011; Speidel 2001:53). באזורים הרריים, שם קו הרכס נישא גבוה מתוואי אמת המים, עמדו בפני הליברטור שתי חלופות: להקיף את הרכס מעל פני השטח, או לחצוב מנהרה תת־קרקעית ולקצר את התוואי. האפשרות השנייה הייתה כרוכה במדידות אנכיות ואופקיות מורכבות, ובהתגברות על תנאים של חוסר תקשורת ותאורה. תרומתן של מנהרות חוצות־רכס למחקר הארכיאולוגי־ההיסטורי ולחקר הנדסת המים הקדומה רבה. המנהרות מהוות עוגן כרונולוגי למסורות החציבה ולידע ההנדסי־הגיאולוגי־ההידרולוגי בתקופה שבה נחצבו. מקור הידע עשוי להיות מקומי או אימפריאלי. כמו כן, אפשר ללמוד מהן בעקיפין על תהליך קבלת ההחלטות של הליברטור ועל תהליך העבודה הכרוך בהעברת אמת מים במנהרה, משלב התכנון עד שלב הביצוע. המנהרות אף משמרות במובהק את התוואי הקדום של אמת המים ואת גובהה הראשוני, בניגוד לאמה הנמצאת בפני השטח, שנהרסה ונבנתה חליפות, ולכן ניתן להיעזר בהן לחישוב שיפוע אמת המים. מן האמור לעיל עולה, שהמנהרות יכולות לסייע בביסוסה של כרונולוגיה יחסית כחלק ממחקר משווה.

במאמר זה¹ יושוו לראשונה מאפייניהן של כלל המנהרות חוצות־הרכס ששולבו בארבע אמות המים לירושלים: שתיים באמה התחתונה, אחת באמה העליונה, שלוש באמת הערוב ואחת באמת

1 המאמר מוקדש לזכרו של אבי, ד"ר ר"ב יחזקאל, שדמותו, ועידודו השקט, הניעוני בחיי ומחקריי. אני מבקש להודות לאנשים האלה: ע' פרומקין, שקרא את כתב היד המקורי; י' ביליג, שאפשר לי לסקור את פירי ארמון הנציב וחלק עמי מניסיונו הרב בתחום חקר אמות המים לירושלים; וי' זלינגר, על העזרה בקידום המחקר ושיתוף המידע. תודה שלוחה גם לא' זילברבוד, על ההזמנה להשתתף עימה בחקר מנהרת האמה העליונה ברחוב הרומזרין ועל שיתוף הפעולה הפורה; לח' שקולניק, ת' ליאני וא' הגר מקמ"ט ארכיאולוגיה ביו"ש, על הסיוע בתיעוד אמת הערוב במחצבת בית פג'אר; למ' גוטמן וי' כיאט מ"שומרים על הנצח", על הסיוע בתיעוד אמות

הביאר. על אף שרוב המנהרות מוכרות במחקר כבר מאמצע המאה הי"ט (איורים 1-3), דיון משווה וכוללני הכרחי לאור חשיפתה לאחרונה של מנהרה יחידה מסוג זה ששולבה באמת המים העליונה (זילברבוד ויחזקאל בדפוס; יחזקאל וזילברבוד תשפ"ה), וסקירתן של יתר המנהרות בתת־הקרקע (האמה התחתונה, אמת הערוב ואמת הביאר), חלקן לראשונה וחלקן מחדש, ונתונים חדשים שאסף המחבר על אודותיהן.

עבור כל מנהרה מפורטים הנתונים האלה: אורך, חלופה עילית בפני השטח, היחס בין השניים, עומק מפני השטח, התצורה הגיאולוגית, סוג הפירים, צורתם והמרווחים ביניהם, הסטייה במפגשי החוצבים² בין פירים (מידע חלקי), שיפוע (מידע חלקי) ותיארוך מוצע (טבלות 1-3).

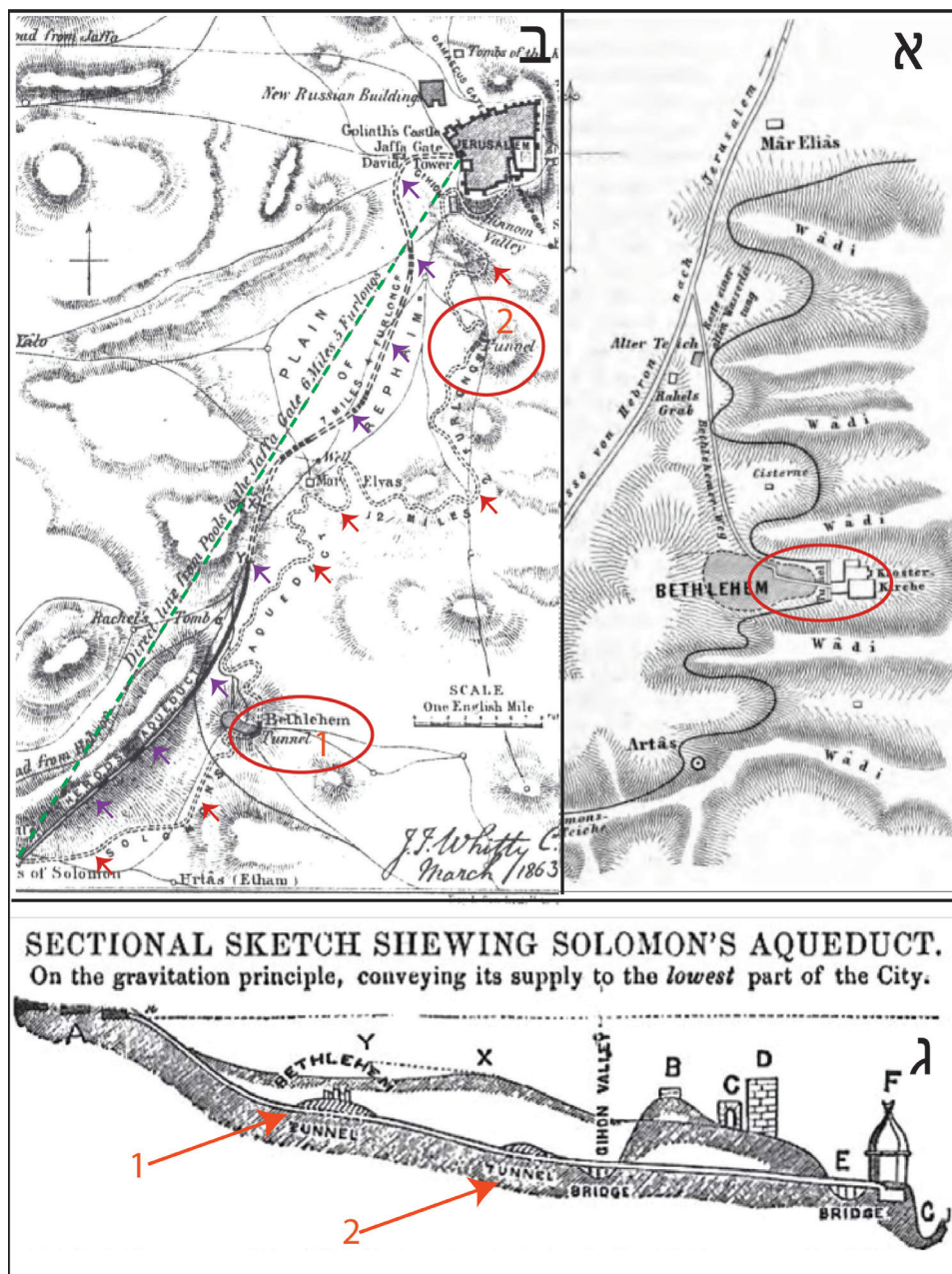
קורפוס המנהרות חוצות־הרכס באמות המים לירושלים

אמת המים התחתונה

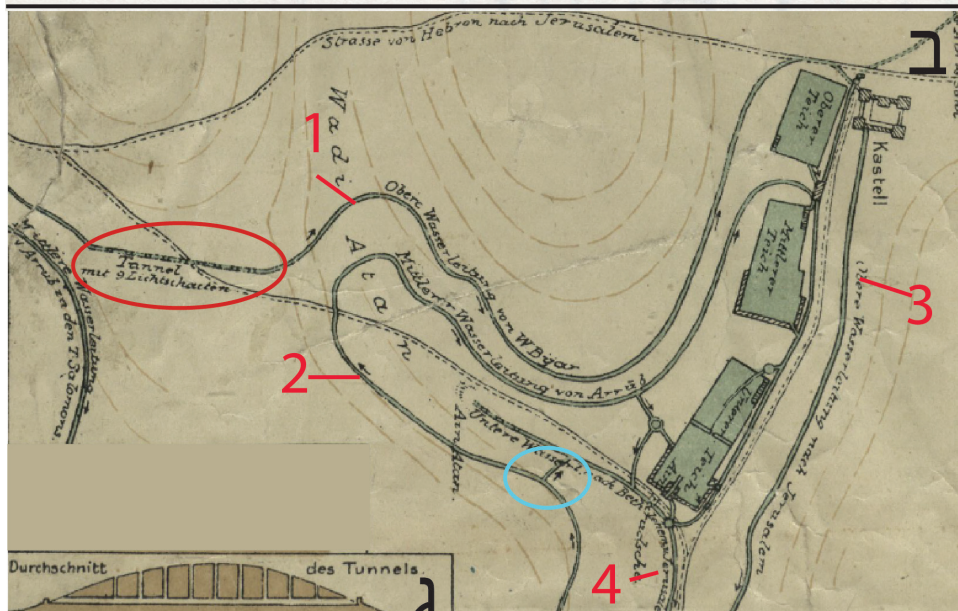
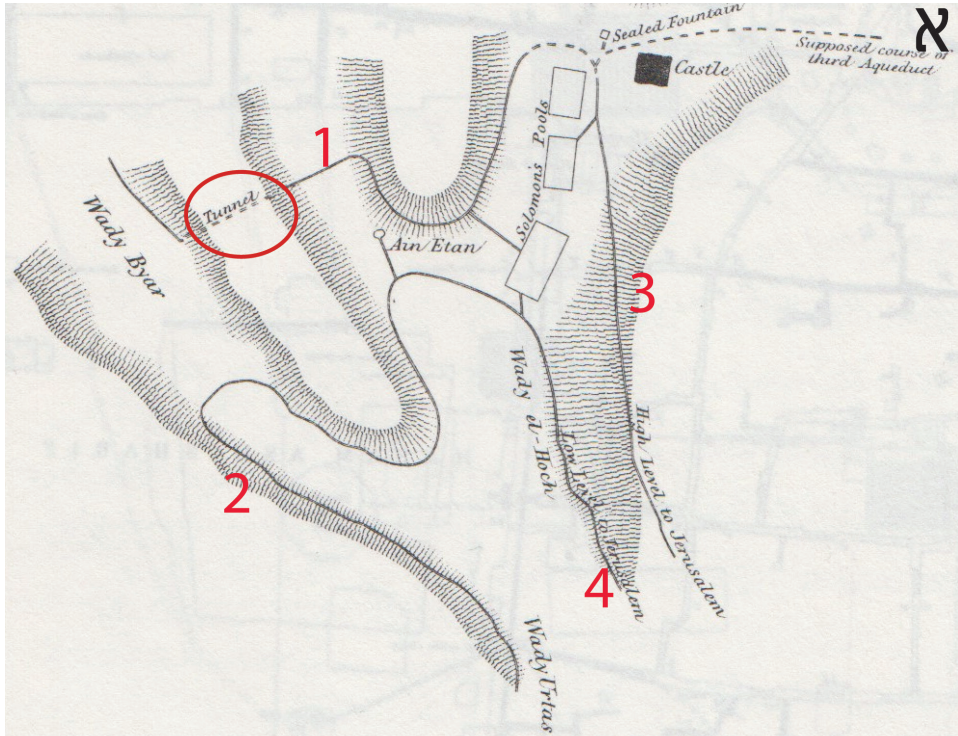
מוצאה של האמה התחתונה באזור ברכות שלמה, ויעדה הר הבית. מקובל שאמה זו היא הקדומה באמות המים לירושלים (טבלה 1; ראו להלן, דיון ומסקנות). שתי מנהרות חוצות־רכס שולבו באמת מים זו, והן מוכרות במחקר כבר מאמצע המאה הי"ט (איור 1).

הביאר והערוב בחלקיה השונים, על ההשקעה בשימור אמות המים לירושלים ועל העלאת המודעות לגביהן; לר' סילברמן ונ' יהלום-מאק מהמעבדה לחקר חומרים ארכיאולוגיים וטכנולוגיות קדומות באוניברסיטה העברית, על בדיקת הצבע מאמת הערוב; לא' ויגמן, על העזרה במדידות ובציוד; לע' שיאון ולר' כהן מרשות העתיקות, על האפשרות לצלם את החפירות בגבעת המטוס ועל השיתוף במידע; לא' הילמן ולד' טראובמן מקמ"ט ארכיאולוגיה ביו"ש, על שיתוף המידע מעבודות השימור של אמת הערוב סמוך לרכס דהר בקו. תודה גם לאלה שהשיאו עצה טובה במהלך המחקר או סייעו באיסוף חומר ובעבודת השדה: ח' הורן, נ' גרשוני, ח' כהן קלונימוס, מ' רוטר, ז' רוטקהוף, וח' בצלאל. תודה מיוחדת ל" נגב, על שיתוף הפעולה בחקר אמות המים לירושלים ובחקר תת־הקרקע במנהרות השונות במשך כל השנים; לע' מזר, על השיתוף בארכיון האישי שלו של אמות המים לירושלים; ול' גדות, על מספר תובנות חשובות ועל העידוד לפרסם את המחקר. מאמר זה נכתב בזמן שבו התארחתי כפוסט דוקטורנט במכון לארכיאולוגיה של אוניברסיטת תל אביב.

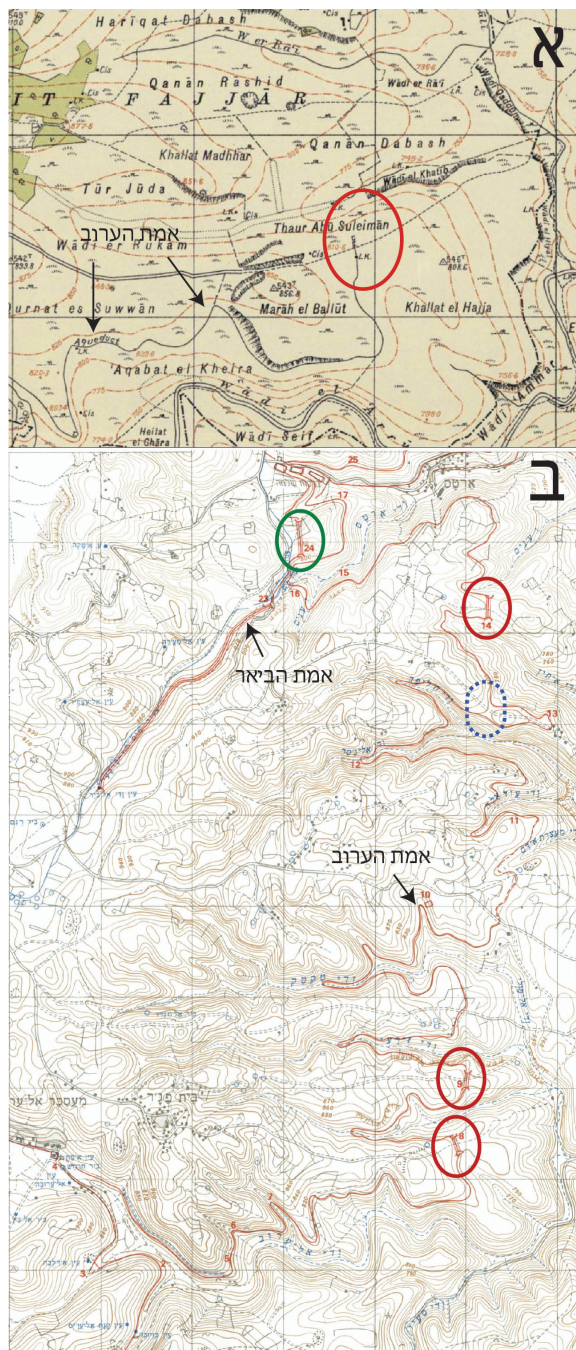
2 קרי הפער בין הקו האווירי בין שני פירים סמוכים, לאורך המנהרה שנחצבה בפועל בידי צוותי החוצבים שעבדו מכיוונים מנוגדים.



איור 1. (א) תוואי אמת המים התחתונה (קו שחור רציף) והמנהרה החוצה את קו הרכס בבית לחם (עיגול אדום) (Tobler 1859:85); (ב) תכנית אמות המים לירושלים (לפי Whitty 1863), ובהן מסומנים אמת המים העליונה (חיצים סגולים), הקו האווירי בין ברכות שלמה לשער יפו (קו ירוק) ואמת המים התחתונה (חיצים אדומים), ולאורכה מנהרת בית לחם (1) ומנהרת ארמון הנציב (2); (ג) חתך באמה התחתונה לירושלים (לפי Whitty 1863): מנהרת בית לחם (1) וארמון הנציב (2)



איור 2. מנהרות חצות־רכס בספרות מהמאה הי"ט: (א) אמת הביאר (1) ומנהרת דהר בקו (עיגול אדום), ותוואי אמת הערוב (2) המתחברת ישירות לאמה התחתונה (4). שימו לב גם לתוואי האמה העליונה (3) (Wilson 1865); (ב) אמת הביאר (1) ומנהרת דהר בקו (עיגול אדום), תוואי אמת הערוב (2) מזין באמצעות סעיף קצר ומשני (עיגול כחול) את האמה התחתונה (4). שימו לב גם לתוואי האמה העליונה (3) (Schick 1878); (ג) חתר במנהרת דהר בקו (Schick 1878)



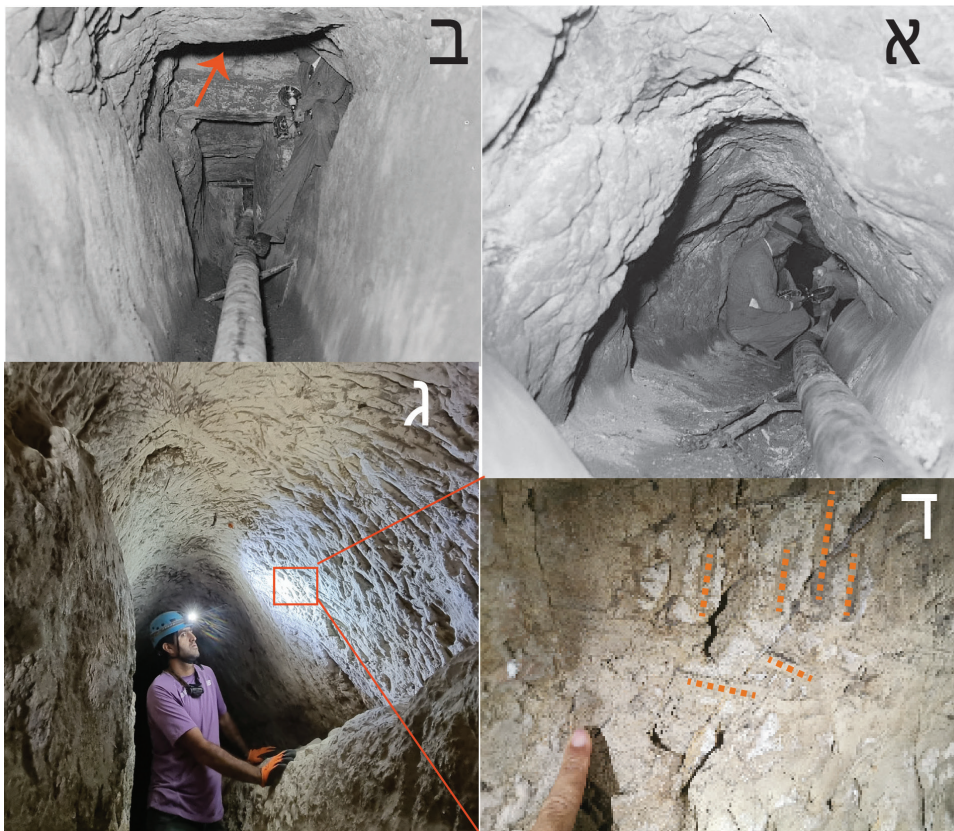
איור 3. מנהרות חוצות-רכס במפות מהמאה הכ': (א) התיעוד הקדום ביותר של המנהרה הדרומית (עיגול אדום) באמת הערוב לירושלים (חיצים שחורים) (מפה בריטית, 1920, 1:20,000); (ב) שלוש מנהרות באמת הערוב (עיגולים אדומים) ומנהרת דהר בקו של אמת הביאר לירושלים (עיגול ירוק). בעיגול כחול מקווקו ניתן להבחין ברכס שיח אבו נג'ם, הנראה מתאים להעברת מנהרה, אך אמת הערוב הקיפה את השלוחה (ראו בגוף הטקסט הערה 7) (מזר תשל"ג)

טבלה 1. נתונים כלליים: מנהרות חוצות־רכס באמות המים לירושלים

שם האמה	שם המנהרה	מרחק אירי (מ)	חלופה בפני השטח (מ)	יחס מנהרה/ חלופה עילית	עומק מקסימלי מפני השטח (מ)
האמה התחתונה	בית לחם	180*	1040	5.78	30
	ארמון הנציב	395	3629	9.19	40
אמת הערוב	דרומית	150*	1844	12.29	~3-5
	אמצעית	100*	329	3.29	~1-2
	צפונית	156*	1784	11.44	8
האמה העליונה	רוזמרין	80*	ראו בהרחבה יחזקאל וזילברבוד תשפ"ד	ראו בהרחבה יחזקאל וזילברבוד תשפ"ד	2
אמת הביאר	דהר בקו	480	1593	3.32	32

תצורה גיאולוגית	הצעות תארוך במחקר	הערות
קרטון של תצורת מנוחה (חבורת הר הצופים)	שיק (Schick 1878): הורדוס; הקר (תשט"ז): הורדוס; מזר (Mazar 2002): חשמונאי; ביליג (תשע"ח): המאה הא' לפסה"נ (אלכסנדר ינאי-הורדוס); פטריך (1980): יוחנן הורקנוס-אלכסנדר ינאי; סולומון (2007): יהונתן החשמונאי; מחקר נוכחי: הקדומה מבין האמות (חשמונאי קדום)	מזר (תשמ"ט) העריך שאורך המנהרה 360 מ'. ניתוח מבוסס-GIS שערכתי הראה שהמנהרה אינה ארוכה מ-180 מ'
קרטון של תצורת מנוחה (חבורת הר הצופים)		
גיר מתצורת שבטה (חבורת יהודה)	שיק (Schick 1878): הורדוס; הקר (תשט"ז) ומזר (Mazar 2002): פונטיוס פילטוס; מחקר נוכחי: שנייה מבין האמות (חשמונאי?)	אומדן האורך הכולל של אמת המים החוצה את האוכף מקצה לקצה (על פי מזר תשל"ב), כולל מקטע של תעלה חצובה עמוקה מפני השטח ומנהרה תת-קרקעית
גיר מתצורת שבטה (חבורת יהודה)		אורך המנהרה ואומדן העומק מפני השטח על פי מזר (תשמ"ט); אומדן החלופה העילית על בסיס ניתוח טופוגרפי וקווי הגובה של אמת המים
גיר מתצורת נצר (חבורת יהודה)		אומדן האורך הכולל של אמת המים החוצה את האוכף מקצה לקצה (על פי מזר תשל"ב), כולל מקטע של תעלה חצובה עמוקה מפני השטח ומנהרה תת-קרקעית; לא ניתן לאתר את המוצא הצפוני של המנהרה כיום
גיר מתצורת שבטה - נצר (חבורת יהודה)	שיק (Schick 1878): בית ראשון; הקר (תשט"ז) ומזר (Mazar 2002): לגיון עשירי, המאה הב' לסה"נ; ביליג ודולינקא (2013): אגריפס הא'; עמית וגיבסון (Amit and Gibson 2014) וכהן ושיאון (כרך זה): הורדוס; מחקר נוכחי: שלישית באמות (רומי קדום, הורדוס?)	אומדן אורכה הכולל של אמת המים החוצה את האוכף מקצה לקצה, כולל תעלה עמוקה חצובה מפני השטח ומנהרה חצובה, תת-קרקעית
דולמיט קרסטי תצורת ורדים (חבורת יהודה)	שיק (Schick 1878): בית ראשון; הקר (תשט"ז): הלגיון העשירי; מזר (Mazar 2002): הורדוס; צוק ואחרים (תשמ"ו): חשמונאי; יחזקאל ואחרים (תשפ"ב) ומחקר נוכחי: המאוחרת באמות: המאה הא' לסה"נ, שלטון הנציבים (פונטיוס פילטוס (?)). שיקום במאה הב' לסה"נ	חסימה בין פיר 7 לפיר 8 לא אפשרה סקר מלא של המנהרה; גם המוצא הצפוני של המנהרה בפני השטח אינו גלוי היום

המנהרה הדרומית מבין השתיים עברה דרך רכס בית לחם, סמוך לכנסיית המולד, ואורכה כ-180 מ' (טבלה 1). למיטב ידיעתי, לא קיים תיעוד מתוך מנהרה זו, למעט תצלומים מתקופת המנדט הבריטי, עת שוקמה מערכת המים. בתצלומים ניתן להבחין שחתך המנהרה אינו רגולרי, והוא מעט עגול בחלקו העליון (איור 4:א). בתצלום אחר אפשר כנראה לזהות פיר אנכי (איור 4:ב). המנהרה הצפונית, "מנהרת ארמון הנציב", נמשכת לאורך כ-400 מ'; היא נחקרה ופורסמה במלואה (ביליג תשע"ח; Billig 2002). רובה חצובה בסלע קרטון רך, אך במקטעים שהיה בהם חשש מקריסה, נבנה בתוכה גמלון פשוט. לאורך המנהרה שולבו שישה פירים עגולים, אנכיים, במרווחים שאינם קבועים. המרווח האופקי הגדול ביותר בין פיר אחד למשנהו הוא מעל 130 מ'. על אף שהוצע, שהמנהרה נחצבה בידי צוותים שעבדו במקביל מבסיס כל פיר לכיוונים מנוגדים, קשה להבחין בבירור במפגשי החוצבים לאורך המנהרה



איור 4. מנהרות חוצות-רכס באמת המים התחתונה: (א) מנהרת בית לחם, ובה צינור ברזל מודרני. חתכה הלא-רגולרי של המנהרה דומה לזה של מנהרת ארמון הנציב (Matson and Matson 1940); (ב) מנהרת בית לחם, ובה מסומן בחץ אדום מיקומו של פיר אפשרי (Matson and Matson 1940); (ג) מנהרת ארמון הנציב, שחתכה אינו רגולרי (צילום: "גב"); (ד) מנהרת ארמון הנציב, סימני חציבה וסיתות ללא דפוס מסודר (צילום: "גב")

(Frumkin 2015), שכן סימני החציבה לאורך המנהרה אינם יוצרים דגם אחיד וברור (איור 4:ג, ד). חתך המנהרה בחלקיה החצובים מזכיר את החתך במנהרת בית לחם (איור 4:א-ג). במחקר הנוכחי נסקרו לראשונה באופן מדוקדק הפירים באמצעות ציוד SRT (Single Rope Technique). פירים 1 ו-2 נמוכים למדי, ללא מאפיינים מיוחדים, ופירים 5 ו-6 אינם נגישים גם בטיפוס. כפי שהבחין ביליג, שעה שהתבונן למעלה מבסיס המנהרה (ביליג תשע"ח: טבלה 1), פיר מספר 3, שעומקו מפני השטח כ-34 מ', קורה בקמרון חביתי שבמרכזו שולב פתח רבוע. בסקר נמצא שבראש הפיר ניצב קיר תמך שהושתת על סלע האם, ורק במרחק־מה מעליו הושתת קמרון חביתי, שמעל חלקו הצפוני קיימת שכבה של אבני ריצוף אופקיות (איור 5:א). צירן של אבני הריצוף הללו שונה מעט מציר הקמרון (איור 5:א), ונראה ששימשו ליישור השטח מעליו. המרווח משני צידי הקמרון נאטם בקירות בנויים מאבני גוויל. סגירה זו הייתה הכרחית כיוון שחתך הפיר עגול, ואילו קמרון החבית מייצר כיסוי מרובע. בסקר תועדו לראשונה זוגות של גומחות חצובות בקיר במרווחים אנכיים של כ-5 מ' זה מזה (איור 5:ב). זוגות הגומחות מופיעים במדורג לאורך הפיר, ונראה ששימשו להעמדת גלגלת, סולם אלכסוני או מנוף כלשהו. יציין, שלפחות בנקודה אחת בדופן הפיר, בגובה כ-15 מ' מעל הקרקעית, נמצאו חריצי חבל. בדופן פיר 3 נמצאו סימני סתתים במפלסים שונים, אולי סימנים למדידת עומק (איור 5:ג), ושרידי צבע אדום, חלקם בגובה של כ-30 מ' מעל קרקעית המנהרה (איור 5:ד). כיוון שהפיר אנכי לחלוטין, והנקודות שבהן נחשפו שרידי הצבע נגישים רק בעזרת טיפוס בחבל, ברור שהצבע יושם בזמן חציבת הפיר.

בסקר התגלה שגם פיר 4, שעומקו מפני השטח כ-40 מ', קורה בדומה לפיר 3, דהיינו בקמרון בנוי גזית בעל 15 נדבכים שבמרכזו פתח (איור 6:א). החלל שבין הקמרון לשפת הפיר החצוב, בדומה לפיר 3, נאטם במספר שורות של אבני שדה, שהונחו על שכבה עבה של טיח לבן, שנחתכה בעת חציבת הפיר, והושתתה ישירות על סלע האם (איור 6:א, ב; ראו להלן, דיון ומסקנות). בפיר 4 הובחן דגם חציבה סדור של רגיסטרים מתחלפים, היוצרים מעין דגם אידרה (איור 6:ג). פירים 3 ו-4 אינם ממורכזים מעל תוואי המנהרה (איור 6:ד), ולכן אפשר היה להעלות ולהוריד ציוד למדף סלע שהושאר מעל תוואי אמת המים בלי לחסום אותה בזמן עבודות החציבה.

אמת המים העליונה

מקורה של האמה העליונה לירושלים באזור ברכות שלמה, אך יעדה המדויק בירושלים, והאם הגיעה לעיר ומתי, שנויים במחלוקת (ראו Amit 2002; Mazar 2002; Gurevich 2020). רוב החוקרים משייכים את בניית האמה העליונה להורדוס (37-4 לפסה"נ), אך היא שוקמה בימי אליה קפיטולינה, במאה הב' לסה"נ, כעדות חרוטות של שמות קציני הלגיון הרומי שנמצאו על חוליות אבן שיצרו סיפון שהתגבר על אוכף טופוגרפי באזור בית לחם (דדון וזלינגר 1997; Wilson 1905).

בחפירת הצלה שנערכה ברחוב הרוזמרין בירושלים נחשפה מנהרה תת-קרקעית שחצתה את קו פרשת המים הארצי בתוואי האמה (נ"צ 219479/626514; להרחבה ראו זילברבוד ויחזקאל בדפוס; יחזקאל וזילברבוד תשפ"ה). בחפירה תועד מקטע של כ-45 מ' מאמת המים, שנמשך בציר דרום-מזרח - צפון-מערב. בתחילה, ולאורך כ-14 מ', נחצבה האמה מפני השטח כתעלה שעומקה כ-1.8 מ'. בהמשך



איור 5. פיר 3 במנהרת ארמון הנציב: (א) מבט למעלה לעבר ראש הפיר: סלע האם (1), קיר תמך שהושגת ישירות על סלע האם (2), קמרון חבית (3) ואבני הריצוף שהונחו מעל קמרון החבית (4) צילום: ע' יחזקאל; (ב) זוגות של נישות חצובות בדופן פיר 3 (צילום: י' נגב); (ג) תווי סתתים בדופן פיר 3 צילום: ע' יחזקאל; (ד) סימני צבע אדום על דופן פיר 3, קו מאונך וקו מאוזן מפולס למדי (ריבוע לבן מקווקו) (צילום: י' נגב)



איור 6. פיר 4 במנהרת ארמון הנציב: (א) מבט לעבר ראש הפיר: סלע האם (1), קיר אבני גוויל לאיטום המרווח בין ראש הפיר (2) לקמרון החבית (3) (צילום: י' נגב); (ב) הגדלה של הריבוע האדום באיור 6א: סלע האם (1), קיר אבני הגוויל (2), קמרון החבית (3) ושכבת הטיח הלבן העבה שהושתתה על סלע האם ושהפיר חתר (חץ אדום) (צילום: י' נגב); (ג) פיר 4 מבט למטה: דגם החציבה של הפיר מסומן בקווים אדומים: רגיסטים היוצרים דגם הידרה. (ד) מבט דרומה לעבר בסיס פיר 4, הפיר אינו ממורכז ביחס לתוואי המנהרה (צילום: ע' יחזקאל)

זרמו המים במנהרה תת־קרקעית חצובה שתועדה לאורך כ־30 מ'; היא נפגעה במספר מוקדים לאורכה בעת עבודות חציבה מודרניות. על בסיס ניתוח GIS, הטופוגרפיה כיום והמקטעים החשופים של האמה העליונה בהמשך הרכס צפונה, ניתן להעריך שאורך המקטע של אמת המים שחצה את האוכף כמנהרה/תעלה חצובה ומקורה, היה כ־80 מ', אולם זו רק הערכה בשל התכסית הצפופה באזור (טבלה 1).

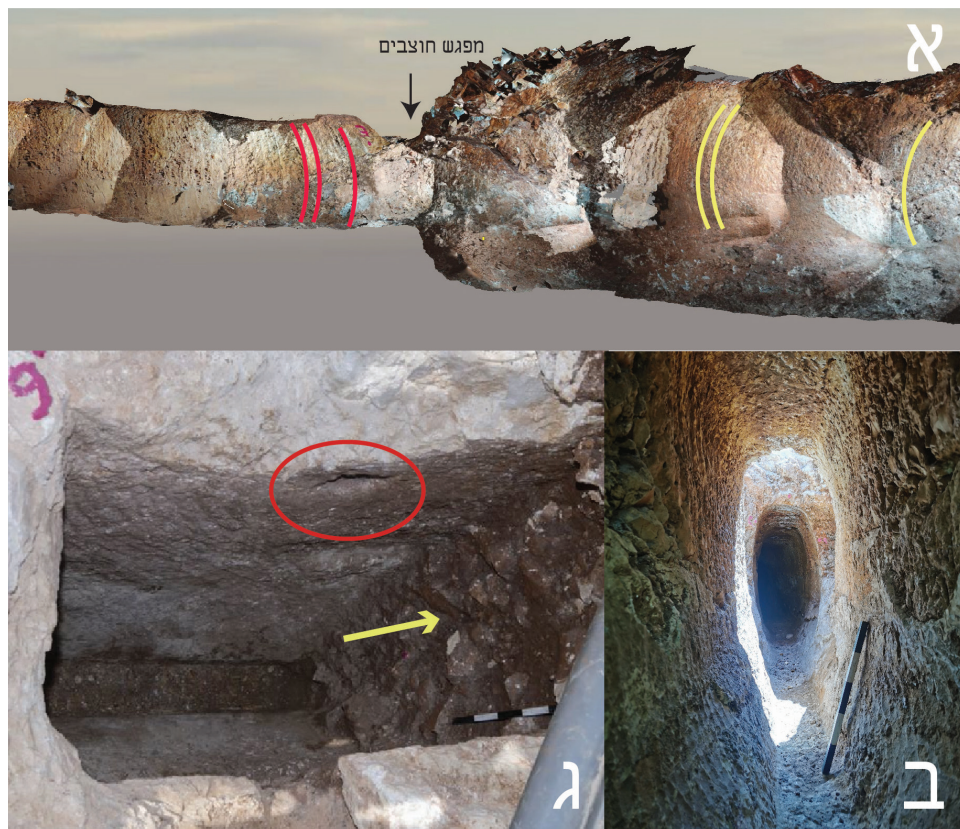
בשונה מהאמה התחתונה, ניתן לזהות בקירות המנהרה דגם חציבה סדור: החוצבים סיתתו באבן בתנועה מעגלית, מלמעלה למטה, בעזרת איזמל שרוחבו 1–2 ס"מ. על אף שהמנהרה נפגעה מאוד בעקבות עבודות החציבה המודרניות, אפשר עדיין להבחין בשני פירים לפחות, שהחציבה נעשתה מבסיסים בכיוונים מנוגדים (איור 7:א; להרחבה ראו יחזקאל וזילברבוד תשפ"ה). סמוך לקצה המערבי של החפירה השתמר אחד הפירים במלואו: מתארו רבוע (כ־1 × 1 מ') ומעט מתחת לשפתו חצוב מדרג רגל (איור 7:ג). קירות המנהרה טוחו היטב בשתי שכבות טיח בלבד, שתייהן בצבע אפור, וביניהן ומעל השכבה העליונה נותרו משקעי גיר המעידים על זרימת מים בטווח שבין יישום שתי השכבות. גובה המנהרה משתנה לאורכה מ־0.6 ל־1.5 מ' לערך, אך רוחבה אחיד למדי (איור 7:ב). המשך המנהרה לכיוון מערב סתום במילוי עפר, שבתוכו נמצא שבר קנקן מן המאות ה'ז–ה' לסה"נ (יחזקאל וזילברבוד תשפ"ה) – עדות ברורה לכך שהמנהרה יצאה משימוש בתקופה זו, ובהתאמה – אמת המים העליונה כולה (ראו גם ביליג תשע"ב).

אמת הערוב

אמת הערוב הובילה מים מאזור אל־ערוב שבצפון הר חברון לברכות שלמה (איורים 2:ב; 3). זו האמה הארוכה ביותר בישראל (Patrich and Amit 2002), ואורכה נאמד בכ־40 ק"מ (Mazar 2002). על אף שישנה מחלוקת במחקר בנוגע לשליט שבימיו נבנתה האמה, רבים מתארכים אותה לתקופה הרומית הקדומה (להרחבה ראו Mazar 2002). אורכה של האמה נובע מכך שהיא מקיפה בשיטתיות את רוב השלוחות שכיוון מזרחה, שעה שיעדה צפונה (איור 3:ב). בשלוש נקודות בלבד העדיף הליברטור לקצר את התוואי בחציבת מנהרות קצרות באוכפים טופוגרפיים. המקור היחיד עד כה לתיאור מנהרות אלו היה הסקר בפני השטח שערך עמיחי מזר בסוף שנות ה־60 של המאה ה־20 (מזר תשל"ג; Mazar 2002).³

מזר ציין שאורך המנהרה הדרומית מבין השלוש הוא כ־100 מ', שלאורכה חצובים חמישה פירים ושהיא נחצבה לעומק כ־3 מ' מפני השטח, בחלקה כתעלה עמוקה ובחלקה כמנהרה. בסקר שערכנו במקום (נגב י', פרומקין ע' והמחבר 21/11/2021) מצאנו שהמנהרה נמצאת בתחומי מחצבה פירטית ונהרסה לחלוטין. הצלחנו לאתר את המקטע שהיה צמוד למוצא הצפוני של המנהרה תלוי במצוק (איור 8:א); אורכו כ־27 מ', והוא נחצב כתעלה עמוקה מפני השטח וקורה לאחר מכן בגמלון פשוט

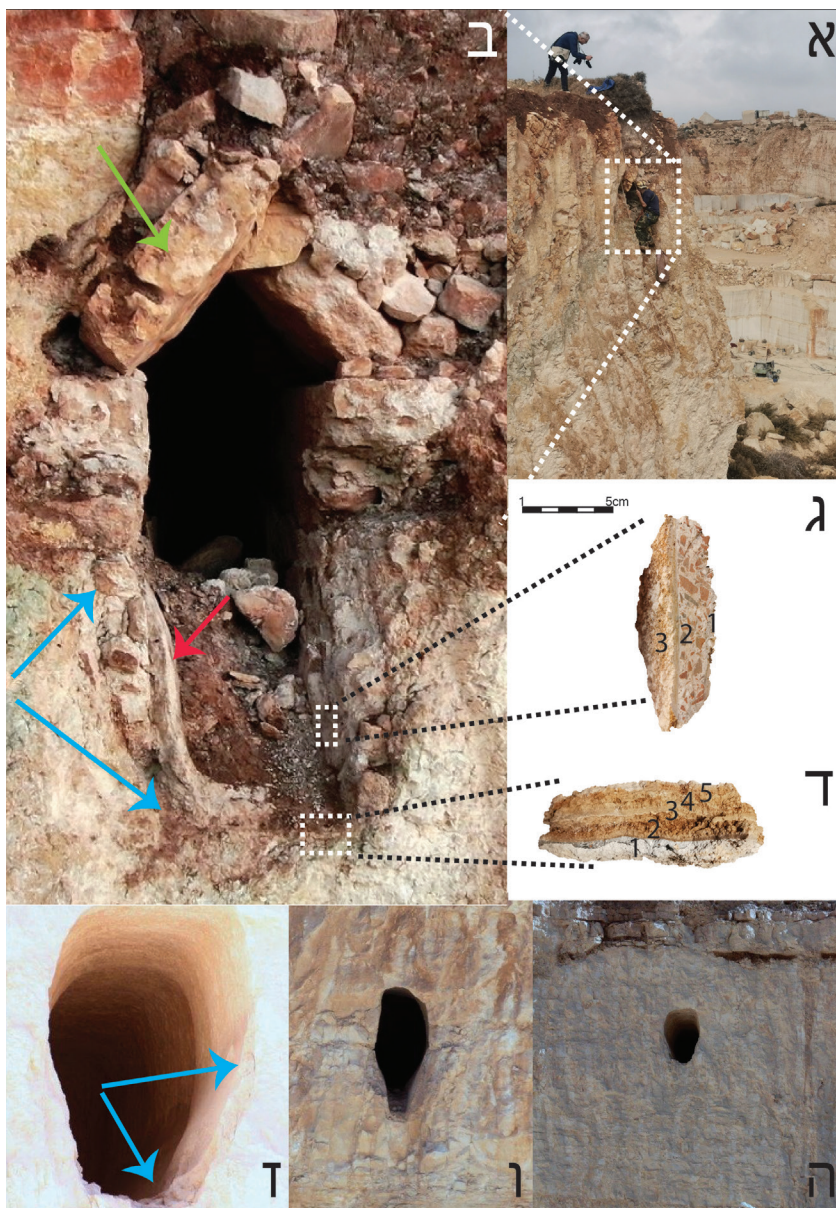
3 אני מודה לנע' מזר, שהעמיד לרשותי את הארכיון האישי שלו, כולל נתונים גולמיים מעבודת הסקר שערך בשנת 1969.



איור 7. מנהרת הרוזמרין באמת המים העליונה (מתוך: יחזקאל וזילברבוד תשפ"ה): (א) מפגש החוצבים לאורך המנהרה (מודל פוטוגרמטרי: א' יגמן), סימני החציבה המנוגדים (קווים אדומים אל מול צהובים), והסטייה האנכית בנקודה זו (חץ שחור); (ב) מבט כללי מערבה על המנהרה (צילום: ע' יחזקאל); (ג) הפיר בקצה השטח המערבי של החפירה, מבט מלמעלה, מדרך הרגל (עיגול אדום) והמילוי המכוון הסותם את המשך האמה/מנהרה לכיוון מערב (חץ צהוב). במילוי זה נמצא שבר קנקן מן המאות ה'ז'-ח' לסה"נ (להרחבה ותצלום: יחזקאל וזילברבוד תשפ"ה) (צילום: ש' הלוי)

ובהמשכו, בלוחות קירוי אופקיים (איור 8:ב). למיטב ידיעתי, זהו התיעוד היחיד של שימוש בגמלון בתוואי אמה זו.

בחלקו התחתון של דופנות התעלה החצובה ניתן להבחין בתשתית אבנים ומעליה מספר רב של שכבות טיח, שהמאחרת שבהן בגוון אדום, ובה שברי חרסים רבים. טיפולוגית, טיח זה משויך לתקופה הביזנטית (Porath 2002; איור 8:ג). בבסיס התעלה ניתן היה להבחין בחתך שונה של שכבות טיח רבות שביניהן משקעי גיר המעידים על זרימת מים. גונה של השכבה התחתונה ביותר אפור; היא עשירה בפחם ודומה במאפייניה לטיח שנמצא במנהרה הצפונית (איור 8:ד; ראו להלן).



איור 8. אמת הערוב, המנהרה הדרומית: (א) קטע אמת המים במוצא המנהרה שהתגלה תלוי במצוק בשנת 2021 צילום: ע' יחזקאל; (ב) הגדלה של איור 8א, ובה נראים הגמלון (חץ ירוק) ואבני הדיפון בתחתית התעלה (חיצים כחולים), ומעליהם שכבת הטיח (חץ אדום); (ג) תקריב חלקה החיצוני של שכבת הטיח שיושמה על דופן התעלה, שאריות טיח אפור (1), טיח אדום עשיר בשברי חרסים (2) ופני הטיח ומשקעי גיר (3); (ד) תקריב הטיח שנמצא בבסיס התעלה; הצעה לזיהוי חמש השכבות, הטיח הקדום ביותר הוא אפור; (ה-ז) המנהרה התלויה במצוק המחצבה בשנת 2013 (באדיבות ז' רוטקהוף). המנהרה אינה קיימת יותר, החיצים הכחולים באיור 8א מצביעים על שכבת הטיח המכסה רק את חלקה התחתון של המנהרה

בתצלומים משנת 2013 נראים קטעים שונים מהמנהרה במצוקים במחצבה (איור 8:ה-ז), לפני שנהרסה כליל.⁴ באחד התצלומים אפשר להבחין שתקרת המנהרה קמורה מעט (איור 8:ה), ואילו בתצלום אחר נראה שחלקה התחתון של המנהרה הוצר במכוון (איור 8:ז). בתצלום אחר (איור 8:ז) ניתן להבחין בשכבת טיח בהירה, יחידה, שיושמה רק על חלקה התחתון של המנהרה, בשונה משכבות הטיח הרבות שתועדו בתעלה החצובה (השוו איור 8:ז לאיור 8:ב). ניתן להסביר זאת בקושי לטייח מנהרה תת-קרקעית, בניגוד לתעלה הקרובה לפני השטח, שאת קיריה ניתן להסיר.

המנהרה האמצעית נמצאת רק רכס אחד צפונה מזו שתוארה לעיל (איור 3:ב), אולם היא לא אותרה בסקר ונראה שנקברה תחת הבנייה המודרנית. על פי הארכיון של מזר (ר' הערה 3), מנהרה זו רדודה מאוד, שכן מבחינה טופוגרפית פני השטח כמעט זהים לגובה התוואי המתוכנן של אמת המים. המנהרה הצפונית ביותר מופתה ונסקרה לראשונה במחקר זה. הסקר התת-קרקעי התאפשר לאחר שחלק ניכר מהמנהרה שוקם לאחרונה מטעם קמ"ט ארכיאולוגיה ביו"ש. מזר ציין שאורכה של המנהרה כ-156 מ' ולאורכה חמישה פירים (מזר תשמ"ט), אולם כיום אפשר להיכנס רק לחלקה הדרומי של המנהרה ובפני השטח גלויים רק שלושה פירים (איור 9). המנהרה חוצה את הרכס מתחת לאוכף טופוגרפי עמוק בציר דרום-צפון.

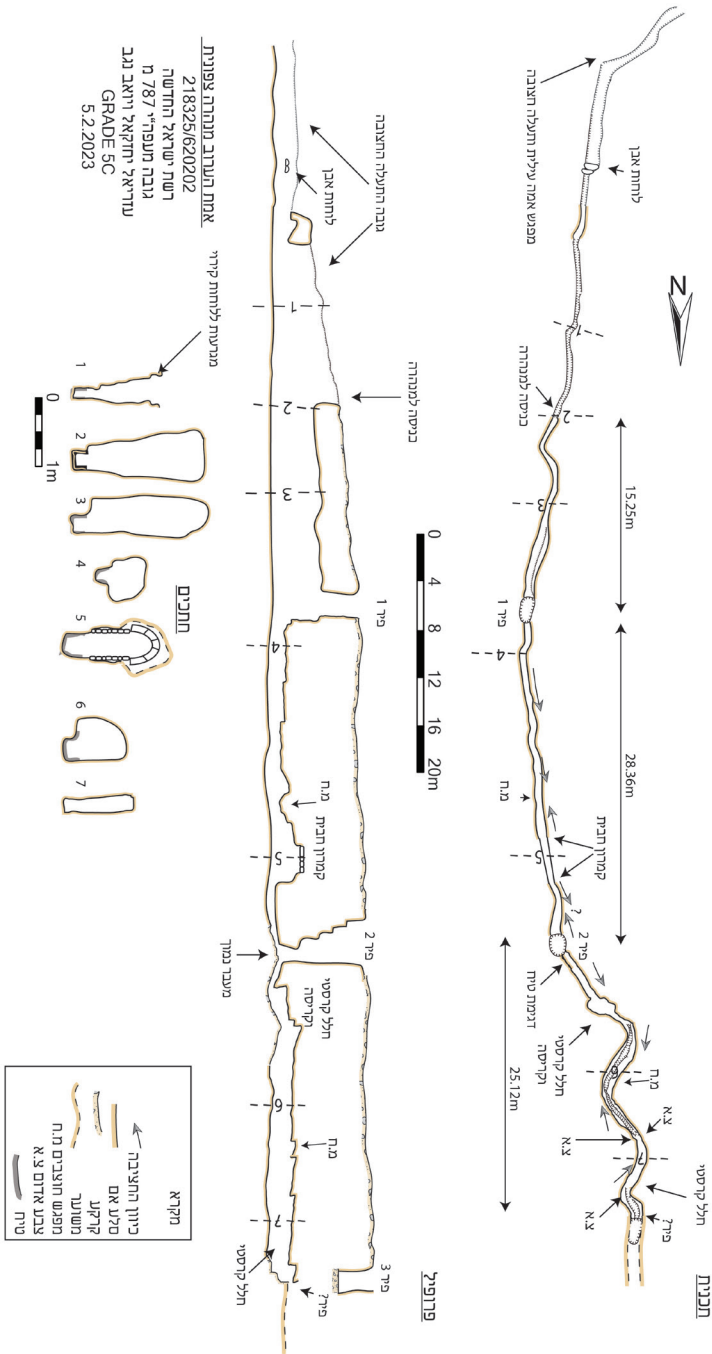
עשרות המטרים הראשונים של אמת המים לאורך האוכף, לפני כניסת המים למנהרה התת-קרקעית, נחצבו בפני השטח כתעלה פתוחה שעומקה כ-3 מ' (איור 10:א, ב). באופן תמוה, התעלה צרה יותר ככל שהיא מעמיקה במעין מדרגות (איור 10:ב). הקטע הראשון של המנהרה התת-קרקעית, עד לפיר 1, גבוה יחסית, והתקרה נישאת כ-3 מ' מעל הקרקעית. גובה המנהרה תואם את העומק המרבי של התעלה החצובה (איור 9). מפיר 1 צפונה, גובהה של המנהרה החצובה נמוך ומאפשר מעבר מינמלי של אדם (איורים 9: חתכים 4-7; 10:ד; 11). סימני החציבה המעגליים דומים לאלו שתועדו באמה העליונה (ראו לעיל).

בנקודה מסוימת בין פיר 1 לפיר 2, כנראה בשל חשש מקריסה, נבנה קמרון חבית בנוי גזית בעל חמישה נדבכים (איורים 9: חתך 5; 11:א). בין פיר 2 לפיר 3 נמדדה סטייה אופקית גבוהה במפגש החוצבים (מעל 5 מ'), המעידה שכנראה עקבו אחר סדק קרסטי (טבלה 2). הפירים היורדים לתת-הקרקע מלבניים ומדרגים, ומצויים בדיוק מעל המנהרה בציר דרום-צפון בכך הם דומים לפירי אמת הביאר (איור 9). לאורך המנהרה התגלו סימני צבע אדום, שחדרו היטב לתוך סימני הסיתות בנקודות שבהן יש שינויים משמעותיים בכיוון או בגובה המנהרה. חלק מהסימנים אופייניים, ובבדיקת לייזר נמצא שהם מפולסים למדי ביחס זה לזה (איור 11:ב-ה). ייתכן שהסימנים הללו שימשו את הליברטור למדידת עומק וכיוון. בבדיקות XRF ו-FTIR נמצא שבסיס הצבע הוא ברזל מחומצן (אוכרה).⁵

נראה שבתחילה, ובשוגג, תוכננה המנהרה לחצות את קו הרכס קרוב יותר לפני השטח. לכן נחצבו התעלה והמקטע הראשון של המנהרה עד פיר 1 בעומק מצומצם. כעבור זמן התגלתה השגיאה, ומקטעים אלו הועמקו עד למפלס הנוכחי. השערה זו מסבירה את המדרגות ברוחב התעלה החצובה

4 אני מודה לר' רוטקהוף, שהעמיד לרשותי את התצלומים שצילם בשנת 2013.

5 אני מודה לר' סילברמן ולר' יהלום-מאק על עריכת הבדיקות במעבדה לחקר חומרים ארכיאולוגיים וטכנולוגיות קדומות, האוניברסיטה העברית, ירושלים.



איור 9. מנהרת אמת הערוב הצפונית, תכנית פרופיל וחתיכים



איור 10. מנהרת אמת הערוב הצפונית: (א) תצלום רחפן של החיבור בין אמת הערוב העילית (חיצים אדומים) לתעלה החצובה המובילה למנהרה חוצת-הרכס (חיצים כחולים) (צילום: 'י כיאט), ובו ניכר ההבדל ברוחב ובמורפולוגיה של שני המקטעים; (ב) התעלה החצובה המובילה למנהרה, מבט לדרום, המדרגה (חץ ירוק) מעידה אולי על המפלס המתוכנן, הראשוני, של אמת המים והמנהרה, ואילו המפלס הסופי מסומן בחץ כחול (השוו לאיור 10ג-ד) (צילום: ע' יחזקאל); (ג) קטע ראשון של המנהרה החוצה את קו הרכס, מבט לצפון (צילום: 'י נגב), גובה המנהרה רב בהשוואה להמשכה; (ד) מבט כללי על קטע המנהרה שבין פיר 1 לפיר 2, שימו לב לגובה המינימלי של המנהרה ביחס לאיור 10ג (צילום: 'י נגב)



איור 11. מנהרת אמת הערוב הצפונית: (א) קמרון בנוי גזית בין פיר 1 לפיר 2, מבט צפונה (צילום: י' נגב); (ב) סימנים צבועים אדום בדופן המזרחית של המנהרה בין פיר 2 לפיר 3, לאורך המנהרה נמצאו עוד סימני צבע שפולסו בקירוב לקו המאזן של צלב זה, קו הלייזר הירוק מסומן בחץ כחול (צילום: י' נגב); (ג) סימני צבע אדום (מרובע שחור וחץ כחול), סמוך למדרגה בתקרת המנהרה (חץ אדום) – עדות למפגש חוצבים בין פיר 2 לפיר 3 (צילום: י' נגב); (ד) הגדלה של מרובע שחור באיור 11, שני קווים אדומים (מסומנים בחיצים לבנים) מקבילים לקו הלייזר הירוק (חץ כחול); (ה) סימן אדום נוסף (עיגול לבן) סמוך למדרגה בתקרת המנהרה (חץ אדום). שימו לב לסימני החציבה המעגליים בדופן המנהרה (קווים שחורים מקווקים) ולדמיון לאלו המופיעים במנהרות הביאר והאמה העליונה (צילום: י' נגב)

ככל שמעמיקים (איור 10:ב), וכן את הפרש הגבהים בין תקרת המנהרה במקטע הראשון (איור 10:ג) לשאר המנהרה (איורים 10:ד; 11). כמו כן, קיים שוני בין האזימוט המדויק של המנהרה חוצת-הרכס ומקטע התעלה העמוק שמדרום לה, לאמת הערוב העילית המגיעה מכיוון מערב, שצרה מהן משמעותית ומפותלת. האמה העילית אף ניגשת לדופן התעלה החצובה (איור 10:א). עדויות אלו מצביעות על כך שצוות ייעודי הועסק בסימון המנהרה ובחציבתה לפני שהאמה שהחלה להיבנות מכיוון מקור המים – אזור ברכת הערוב – הגיעה לנקודה זו. העדות לקיומו של צוות ייעודי הפועל אוטונומית מסבירה את השגיאה בחישוב עומקה מפני השטח בחלקה הראשון (ראו לעיל).

אמת הביאר

אמת הביאר הובילה מים מעין ביאר לברכות שלמה. זוהי האמה הקצרה אך המשוכללת באמות המים לירושלים, ותאריכה במאה ה' לסה"נ, כנראה בימי פונטיס פילטוס (Yechezkel et al. 2021). באמה זו שולבו שתי מנהרות ארוכות: מנהרת פירים, שאורכה כ־3 ק"מ ומטרתה לנקז את האקוויפר התת־קרקעי לפני השטח (Yechezkel et al. 2021), ומנהרה חוצת-רכס (דהר בקו), המוכרת כבר מאמצע המאה ה־3 (איורים 2, 3).

אורכה של מנהרת דהר בקו כ־480 מ' ולאורכה 10 פירים; היא נסקרה בעבר ביסודיות (צוק ואחרים תשמ"ו; טבלה 2). הפירים מלבניים ומדורגים, והם נמצאים בדיוק מעל תוואי המנהרה, בדומה לפירים באמת הערוב. ברור שהמנהרה נחצבה מבסיס כל פיר לכיוונים מנוגדים, ודגם החציבה בה זהה לזה שתועד במנהרות אמת הערוב והאמה העליונה, קרי בתנועות מעגליות, מלמעלה למטה. הסטיות האופקיות במפגשי החוצבים חריגות מאוד, הגדולה שבהן מגיעה ליותר מ־10 מ' (טבלה 2). בסקר הנוכחי תועדו לראשונה הפירים בעזרת ציוד גלישה ייעודי (SRT), ונמצא שפיר 7, שעומקו מגיע כדי 32 מ', קורה בשלבו המקורי בקמרון קדום שסגר אותו מפני השטח (איור 12:א). בשונה מהקמרונות של הפירים במנהרת ארמון הנציב, שנאטמו מצדיהם באבני שדה, הקמרון שבמנהרת דהר בקו תוכנן ללא חלל פתוח משני צידיו, אלא סלע האם (איור 12:א). דבר זה התאפשר בשל העובדה שחתכי הפתחים של פירי מנהרת דהר בקו מרובעים ולא עגולים. בסקר נמצא שמנהרת דהר בקו היא היחידה האוספת מים גם בימינו ולאורכה מספר חללים קרסטיים (איור 12:ג, ד; ראו להלן, דיון ומסקנות). כיום, אי אפשר להמשיך במנהרה מפיר 7 לכיוון צפון בשל סתימה. כמו כן, לא ניתן היה לאתר את מוצאה הצפוני של המנהרה בפני השטח.

דיון ומסקנות

ההשוואה בין המנהרות חוצות-הרכס באמות המים לירושלים שופכת אור על מסורות החציבה והמנהור בתקופות השונות, וכן על הידע ההנדסי והגיאולוגי שעמד לרשות הליברטורים. הדיון שלהלן יתמקד בהשוואה בין תוואי המנהרות לחלופה העילית (ראו טבלה 1), במאפייני הפירים והמרווחים ביניהם, ובחישוב שיפועי הזרימה. לבסוף, תוצע כרונולוגיה יחסית לארבע האמות.

טבלה 2. סוגי הפירים, המרווחים ביניהם וסטיות במפגשי חוצבים בין הפירים במנהרות חוצות הרכס באמות המים לירושלים

שם	מפיר	לפיר	מרחק	עומק פיר עוקב	סטיה אופקית	סוג הפירים	הפניה	הערה
האמה התחתונה מנהרת ארמון הנציב	כניסה	1	13.3	5.4	זניחה	אנכיים ועגולים	ביליג תשע"ח; Frumkin 2015	
		1	24	11.3	זניחה			
		2	102	34.3	זניחה			
		3	135	40	זניחה			
		4	45	27	זניחה			
		5	37	14.5	זניחה			
	ממוצע		59.38	22.08				
האמה העליונה מנהרת רוזמרין (נתונים משוערים בשל פגיעה במנהרה)	כניסה	1	12	2	זניחה	אנכי, חתך מלבני	מחקר נוכחי; יחזקאל וזילברבוד תשפ"ה	רק פיר מספר 2 ניתן לתיעוד. מיקום הפיר הראשון הוסר בעבודות חציבה מודרניות ומיקומו משוער
		1	18	2	זניחה			
	ממוצע		15	2	זניחה			
אמת הערוב מנהרה צפונית*	כניסה	1	15.25	7.26	0.73	חתך מלבני, מדורגים מפני השטח בתוואי המנהרה מתחת	מחקר נוכחי	* נתונים חלקיים שכן המנהרה חסומה בחלקה הצפוני. לפי הנתונים המופיעים בסקר של מזר (אורך המנהרות ומספר הפירים – ראו טבלה 1), בסך הכל במנהרה הדרומית והצפונית של אמת הערוב ממוצע מרחק הפירים עומד על 30 מ', ובמנהרה האמצעית 25 מ'.
		1	28.36	7.9	0.78			
		2	25.12	7.9	5.33			
	ממוצע		22.91	7.69	2.28			
אמת הביאר מנהרת דהר בקו		1	29.8	10.4	0	חתך מלבני, מדורגים מפני השטח בתוואי המנהרה מתחת	צוק ואחרים תשמ"ו; Frumkin 2015	
		2	55.2	20.8	7.4			
		3	35.6	24.2	5.9			
		4	48.1	27.9	3.7			
		7	48.9	29.8	8.9			
		8	53.3	23.9	10.4			
		9	48.3	14.4	0			
	ממוצע		45.60	21.63	5.19			



איור 12. אמת הביאר לירושלים, מנהרת דהר בקו (צילום: ע' יחזקאל): (א) קמרון חבית שכיסה את ראש פיר 7, מבט מלמטה; (ב) מבט כלפי מעלה בפיר מספר 5, ובו מדרגות ולו חתך מלבני; (ג) פנים המנהרה, ובו אפשר לראות את מפלס המים וקו הרטיבות (חץ ירוק); (ד) זרימת מים מתוך סדק קרסטי בתקרת המנהרה (חץ צהוב)

מנהרה חוצת־רכס לעומת החלופה העילית

היחס בין אורך המנהרות התת־קרקעיות לאורך החלופה העילית נע בין 3.32 ל־12.29, ובממוצע 7.55, דהיינו שהחלופה העילית הממוצעת ארוכה פי 7.55 מן המנהרה שחצתה את קו הרכס (טבלה 1).

האמה התחתונה

שתי המנהרות באמה התחתונה לירושלים הניבו יחס שונה: מנהרת ארמון הנציב קצרה פי 9.19 מהחלופה העילית, ואילו מנהרת בית לחם קצרה רק פי 5.78 מהחלופה העילית. ביליג הציע שההחלטה למנהר רכסים אלו נבעה משיקולים מקומיים: המנהרה מתחת לעיר בית לחם נועדה למנוע מתושבי העיר להשתמש במים לצרכיהם, ואילו המנהרה מתחת לרכס ארמון הנציב נועדה לשמר שיפוע מינימלי של כ־1 פרומיל (ביליג תשע"ח).⁶ עם זאת, שיפועה של אמת המים יכול היה להיות נמוך בהרבה מפרומיל 1 ועדיין להזרים מים (טבלה 3). אני מציע שההחלטה לחצוב את שתי המנהרות הללו קשורה דווקא לתשתית הגיאולוגית, שכן בשני המקרים נעשתה החציבה בסלע קרטון רך מתצורת מנוחה (טבלה 1; איורים 4; 5), ואילו החלופה העילית של הקפת רכס ארמון הנציב הייתה מחייבת בניית אמת מים במחשופי סלע צור קשים (איור 13:א). מבחינה מינרלוגית, צור קשה מברזל, וממנו עשויים היו כלי החציבה בעת העתיקה.

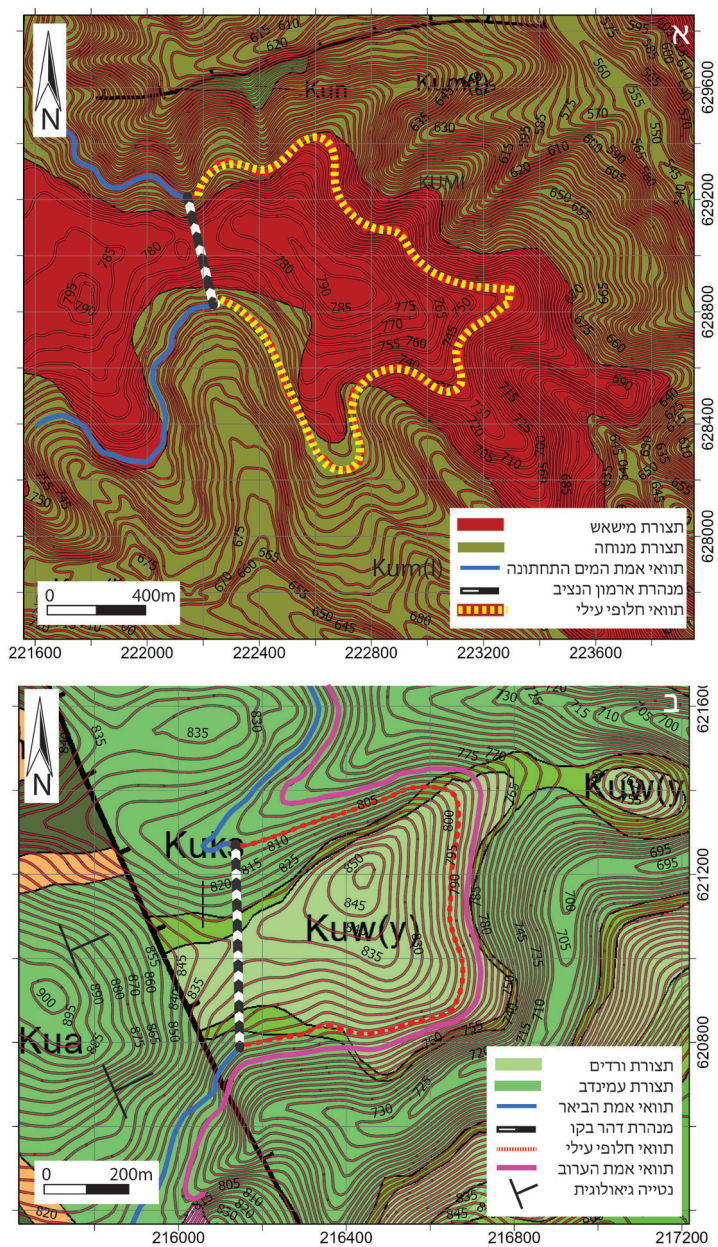
האמה העליונה

על אף שברכות שלמה, מוצא האמה, וירושלים, יעד האמה, מצויים ממזרח לקו פרשת המים הארצי, תוואי אמת המים העליונה במקטע הקרוב לקו פרשת המים הארצית נמשך דווקא ממערב לו. היה זה פועל יוצא של עבודות סקר ומדידה, ורצון שאמת המים תעבור סמוך עד כמה שניתן לקו האווירי בין היעד למוצא (ראה איור 1:ב; קו ירוק). מסיבה זו, הליברטור לא התלבט לגבי חלופה עילית, אלא היכן כדאי לחצות את קו הרכס מערבה – במנהרה. האוכף שבו נחצבה מנהרת אמת המים הוא אכן האופטימלי והמינימלי מבחינת היקף העבודה הנדרש לחציית קו הרכס (להרחבה ראו יחזקאל וזילברבוד תשפ"ד), עדות ברורה למידת הדיוק בתכנון המנהרה והתוואי הכולל של אמת המים.

אמת הערוב

המנהרה האמצעית של אמת הערוב קצרה למדי, רק פי 3.29 מהחלופה העילית (טבלה 1). אך נראה שערך זה איננו מייצג, כיוון שמפלס האמה היה כמעט זהה לגובה האוכף, מה שדרש עבודה מינימלית להעברת המנהרה בנקודה זו (מזר תשמ"ט). עם זאת, שני הערכים הגבוהים ביותר של יחס מנהרה/חלופה עילית מצויים אף הם באמת הערוב (11.44 ו־12.29), ומכאן שהליברטור של אמה זו נמנע מלחצוב מנהרות והעדיף להקיף את הרכסים (Mazar 2002).

6 ככל שאמת המים תתארך, שיפועה יקטן. במקרה דנן, לו הקיפה האמה התחתונה את רכס ארמון הנציב, שיפועה היה קטן מ־1 פרומיל



איור 13. מפות גיאולוגיות (ק"מ 1:50,000): (א) תוואי מנהרת ארמון הנציב, החצובה בסלע קרטון רך של תצורת מנוחה, והתוואי החלופי, העובר במחשוף סלע צור של תצורת משאש הקשה מאוד לחציבה; (ב) תוואי אמת הביאר ואמת הערוב באזור רכס דהר בקו, מנהרת דהר בקו חצובה בסלעי גיר מתצורת ורדים. שימו לב לנטייה הגיאולוגית באזור המנתב מים המחלחלים על קו הרכס לעבר המנהרה

לדעתי, אמת הערוב תוכננה לכתחילה לתפוס מי נגר, בנוסף למי המעיינות שהובילה, ועל כן נמנע הליברטור מלחצוב מנהרות רבות לאורכה.⁷ שטח אגן הניקוז התחום בין תוואי אמת הערוב מברכת הערוב צפונה, עד רכס דהר בקו וקו פרשת המים הארצית, מסתכם בלמעלה מ־2,700,000 מ"ר. בחישוב של נפח משקעים שנתי ממוצע של 560 מ"מ, ובהינתן יחס נגר מינימלי של 2%, אמת הערוב יכלה לתפוס כ־307,000 מ"ק מי נגר בשנה. זוהי כמובן הערכת יתר מקסימלית של כלל האגן, שעה שרק חלקו תועל לתוך האמה. כמות זו גדולה אף מהקיבולת הכוללת של שלוש בריכות שלמה יחד. עם זאת, יש בה כדי ללמד על פוטנציאל מי הנגר בשטח שמעל תוואי אמת הערוב.

מזר הבחין בסקר שערך במספר נקודות שבהן תעלות קצרות הוסיפו מי גשמים לאמת הערוב (ראו למשל מזר תשמ"ט:173). בסקר הנוכחי, שנערך לאורך חלקים מאמת הערוב, נמצא שהיא נצמדת למשטחי סלע חשופים, שבוודאי הוסיפו לה מי נגר עילי (איור 14:א, ב).

לבסוף, מזר הזכיר בסקרו מספר פירי ביקורת לאורך אמת הערוב באזור רכס דהר בקו. במהלך עבודות השימור של קמ"ט ארכיאולוגיה ביו"ש תועד מספר לא מבוטל של פירים כאלו במרחקים קבועים למדי של כ־15 מ' (ד"ר אבנר הילמן ודודן שטראובמן, מידע בעל פה בתאריך 20/2/2024; איור 14:ג, ד). סביר שמספרם הרב של פירי הביקורת דווקא באמת מים זו קשור בסחף הרב שהוחדר לאמת המים עם הנגר העילי.

אמת הביאר

אורכה של החלופה העילית של מנהרת דהר בקו הוא רק פי 3.32 מהתוואי התת־קרקעי. אם מביאים בחשבון את עומק החציבה הכולל של הפירים העמוקים, למעלה מ־150 מ' (טבלה 2), יחס החלופה קטן אף יותר. לדעתי, ההסבר היחיד לערך חריג זה טמון ביעודה של המנהרה ובידע הגיאולוגי וההידרולוגי המרשים של הליברטור האחראי לאמה זו.

מנהרת דהר בקו חצובה בתצורת ורדים מחבורת יהודה, העשירה בתופעות קרסטיות ומתאפיינת בחלחול מהיר של מים מפני השטח. בנוסף, השכבות הגיאולוגיות של ככל האזור ממערב למנהרה, נוטה מזרחה (איור 13:ב) (Yechezkel et al 2021). משמעותם של שני נתונים אלו היא, שהחלטה לחצות את הרכס בנקודה זו אינה קשורה בקיצור התוואי, אלא ברצון לנקז עוד מים אל האמה. נראה שהנחיית הליברטור לחוצבים הייתה, שברגע שיגיעו לעומק הנדרש, עליהם לעקוב אחר חללי המסה קרסטיים ולאסוף באמצעותם מים אל המנהרה. הנחיה זו מטבירה את הסטיות האופקיות במפגשי החוצבים, המגיעות עד לכ־10 מ' (צוק ואחרים תשמ"ו; Frumkin 2015). אי אפשר לתלות סטיות אופקיות חריגות אלו בחוסר מקצועיות של צוותי החוצבים באותה תקופה, שכן במנהרה השנייה של

7 מזר מציין ש"מתמיהה העובדה כי השיטה של חציית אוכף על ידי מנהרה קצרה לא נוצלה ברכס של שיח אבו נג'ם... אך במקום זאת תוואי האמה הוארך ב 1.5 ק"מ על ידי עקיפת הרכס" (מזר תשמ"ט) (איור 3:ב). על סמך ניתוח GIS, מנהרה תחת אוכף זה הייתה צריכה להיות באורך של כ־160 מ', והיא קצרה פי 9.2 מהחלופה העילית בפני השטח שנבחרה. על אף שהתוצאה נראית כערך גבוה, עדיין מדובר מתחת לערך הסף המינימלי שקבע הליברטור בשתי המנהרות האחרות (ראו לעיל).



איור 14. אמות המים, מקטעים עיליים: (א, ב) אמת הערוב צמודה למשטחי סלע האם, המזינים אותה כנראה במי נגר עילי בעונת החורף (צילום: 'י כיאט); (ג, ד) פירי ביקורת לאורך אמת הערוב מדרום לרכס דהר בקו (עבודות השימור וחיפוי פירי הביקורת נעשו על ידי א' הילמן וד' טראובמן מטעם קמ"ט ארכיאולוגיה ב"ש); (ה) אמת הערוב מדרום לרכס דהר בקו, מפותלת (ראו הדמיון לאיור 11); (ו) האמה העליונה, שכונת גבעת המטוס (כהן ושיאון, כרך זה), מפותלת (ראו הדמיון לאיור 14); (ז) אמת הביאר מדרום לרכס דהר בקו, אמה בנויה על גבי קירות תמך גדולים, בעלת אזימוט מוגדר

טבלה 3. גובה אמות המים לירושלים בנקודות שונות ביחס למנהרות חוצות ה'הרס', וחישובי שיפוע בהתאמה.

שם האמה	נ.ג. מוצא (רשת) ישראלי חדשה)	גובה בסיס השייח מעל פני הים (מ')	תיאור	נ.ג. יעד (רשת) ישראלי חדשה)	גובה מעל פני הים (מ')	תיאור	אורך בפועל (מ')	שיפוע (פרמיל)	הפניה
אמה תחתונה	222240/628830	740	כניסה למנהרת ארמון הוצב	222140/629190	739.60	יציאה ממנהרת ארמון הוצב	400	1	Bullig 2002
אמה עליונה	219528/626567	777.21	מנהרת רחוב הרומרין	220397/627729	776.67	מקטע וודאי שוחפר של אמת ומים העליונה על דרך תברון בידי ביליג (משע"ב)	1988	0.2006	יחזקאל ווילברבורד תשע"ד
אמת ה'באר'	215882/620324	805.368	מוצא מנהרת הפיר'ים לכני השטח ותחילת אמת עלילת	216148/620787	802.32	כניסה למנהרת דהר בקו וסוף אמת עלילת	572	5.2	מאמר נוכחי
אמת הערב	218325/620202	787.31	סמור ומדרום לכניסה למנהרה האפופית	218273/620400	787.25	התחדשות האמה העילית מצפון למנהרה האפופית	261	0.22	מאמר נוכחי
אמת הערב	218273/620400	787.25	התחדשות האמה העילית מצפון למנהרה האפופית	216145/620731	785.76	אמה עילית בכני השטח במפלס מותחת לאמת ה'באר' בכניסה למנהרת דהר בקו	5169	0.27	מאמר נוכחי

אמה זו, מנהרת הפירים, הסטיות האופקיות היו נמוכות מאוד והסתכמו בכחצי מטר בממוצע (יחזקאל ואחרים תשפ"ב).

כפי שאפשר לראות באיור 12, מנהרת דהר בקו עוקבת אחר סדקים וחללים, והיא היחידה האוספת מים גם בימינו אנו. כלל המים הזורמים במנהרה הם בוודאות תוצאה של משקעים היורדים על קו הרכס ומחלחלים דרך הסדקים למנהרה, שכן אמת הביאר שמדרום למנהרה שבורה, ומזה שנים שאינה מספקת למנהרה מים. בבדיקות מעבדה נמצא שאין עדות לתרומה אנתרופוגנית במים (חזקי בצלאל, מידע בעל פה מתאריך 1.5.2023).

צורת החציבה, סגנון הפירים ומרווחיהם

החתך של מנהרות האמה התחתונה, וכן סימני הסיתות והחציבה שלהן, שונים מאלו של מנהרות אמת המים העליונה, הערוב והביאר (השוו איור 4 א, ג-ד לאיורים 7, 11 ו-12). הפירים במנהרת ארמון הנציב הם היחידים שצורתם אנכית ועגולה (איור 5). מעניין שגם בנקבת המעיין של עין עיטם, אחד המקורות המזינים את האמה התחתונה, תועד לאחרונה פיר אנכי, עגול. נטיף שנדגם בנקבת המעיין תוארך רדיומטרית בעזרת אורניום תוריום לתקופה ההלניסטית/ הרומית (240 לפסה"נ ± 311 שנים) (Yechezkel et al 2024). ייתכן אם כן, שצורת הפירים אופיינית לתקופה שבה הוקמה האמה התחתונה (ראו להלן). לבסוף, מנהרת ארמון הנציב של האמה התחתונה היא היחידה שמספר הפירים בה נקבע בהתאמה לעומקם מפני השטח, ללא ניסיון להיצמד למרווח קבוע. ככל שהמנהרה הייתה עמוקה יותר מקו הרכס, צפיפות הפירים ירדה, והמרווח ביניהם הגיע עד למעלה מ-130 מ'.

במנהרות של אמות המים האחרות מוקמו הפירים במרווחים קבועים למדי. ויטרוביוס, בן המאה הא' לפסה"נ, המליץ על מרווח קבוע של כ-35 מ' בין פיר לפיר (de Architectura, VIII, 6:3). במנהרה של האמה העליונה נקבעו פירים במרחקים קצרים של 12-18 מ' לערך (טבלה 2), אולי כיוון שחתך הסלע מעל המנהרה אינו עבה, והליברטור העדיף לחצוב פיר נוסף בערך בחצי המרחק המקובל ובכך לזרז את קצב הכרייה.

במנהרות אמת הערוב מוקמו הפירים במרחקים של 25-30 מ' לערך זה מזה (טבלה 2). במנהרת דהר בקו של אמת הביאר מוקמו הפירים במרחק ממוצע של כ-45 מ' זה מזה. נתון זה תמוה שכן במנהרת הפירים באותה אמה מוקמו הפירים במרחק ממוצע של כ-36.5 מ' זה מזה (Yechezkel et al 2021). ייתכן שגם כאן השפיע עומק המנהרה ביחס לפני השטח על המרווחים שבין פיר לפיר, שכן מנהרת הפירים חצובה בעומק ממוצע של 13 מ' מתחת לפני השטח, ואילו ברכס דהר בקו, עומק הפירים מפני השטח מגיע למעלה מ-30 מ'. מכאן, שכאשר הרכס נישא גבוה מעל המנהרה, הפירים מוקמו במרווחים קבועים, אך גדולים מהמרחק שהמליץ עליו ויטרוביוס, דהיינו 35 מ'. יצוין שמרווח של 45 מ' אינו חריג, שכן באחת המנהרות של אמת המים לעכו, המתוארכת לתקופה ההלניסטית, מוקמו הפירים במרווחים קבועים של כ-50 מ' זה מזה (Frankel 2002).

שיפוע המנהרות ואמות המים

ניתן לחשב את השיפוע המתוכנן של אמת מים ששולבה במנהרה חוצת-רכס בחישוב גובה בסיס הטיח משני צידיה (כניסה ויציאה). לחלופין, אפשר לחשב את גובה בסיס הטיח של האמה בחלקיה העיליים במרחק־מה ממנה (טבלה 3).

לפי ביליג (2002), שיפוע מנהרת ארמון הנציב היה כפרומיל אחד⁸. שיפוע המנהרה הצפונית של אמת הערוב, שנמדד בעזרת RTA, עומד על 0.22 פרומיל. השיפוע שנמדד בין מוצא המנהרה למקטע שנחפר במורד האמה ומרוחק ממנו כ־5 ק"מ, הוא 0.27 פרומיל. אלו ערכים מינימליים, הנמוכים מהנתון שצוטט עד כה במחקר (פרומיל אחד; ראו למשל מזר תשמ"ט). שיפוע האמה העליונה בירושלים, בין המנהרה חוצת-הרכס ברחוב הרומירן לקטע שנחפר בדרך חברון והממוקם כ־2066 מ' במורד הזרם, עומד על 0.26 פרומיל, בדומה לאמת הערוב (טבלה 3).

שיפוע אמת הביאר, ממוצא מנהרת הפירים עד הכניסה למנהרת דהר בקו, הוא כ־5.2 פרומיל. כיוון שהמוצא הצפוני של מנהרת דהר בקו אינו נגיש, לא ניתן לחשב את שיפוע המנהרה. במחקר קודם נקבע, שהשיפוע הכולל של אמת הביאר מהמוצא עד היעד הוא כ־12 פרומיל (יחזקאל ואחרים תשפ"ב).

הכרונולוגיה היחסית של אמות המים

חלק ניכר מאמות המים הקדומות בישראל נחקר ונסקר לפני שנים רבות, וההצעות לתיארוך היו כלליות (Patrich and Amit 2002). כך גם במקרה של אמות המים לירושלים. לכן, אני מבקש לסכם כאן את קווי הדמיון והשוני בין המנהרות ולהציע כרונולוגיה יחסית.

ביליג (תשע"ח: 46), במחקרו על אמת המים התחתונה ומנהרת ארמון הנציב, טען ש"הממצאים המעטים שהתגלו בחפירות נסיבתיים ואינם חד־משמעיים, אך נראה שאפשר על פיהם להציע שהאמה הוקמה במאה הא' לפסה"ג, בין תקופת כהונתו של אלכסנדר ינאי לזו של הורדוס, וככל הנראה לא בימי פונטיס פילטוס". הצעתו התבססה, בין היתר, על העובדה שפיר 4 חתר בור מים ששימש את האתר ההליניסטי־החשמונאי שמעליו כדי לחסוך עבודה מיותרת: "איתור פיר 4 בפני השטח והחפירה סביבו לימדו שבתכנון המערכת בכלל, והמנהרה בפרט, הובאו בחשבון נתוני השטח. מלאכת חציבת הפירים הייתה קשה, בייחוד חציבת הפירים שעומקם כ־40 מ'. לכן מוקמו הפירים בנקודות שלהן יתרון, כמו פיר 4 שמוקם בבור מים". בסקר הנוכחי נמצאה בראש פיר 4 שכבת טיח, כנראה של בור המים הזה; היא מושתתת על סלע האם ונחתכת על ידי הפיר (איור 6:א, ב). כמו כן, הוברר שהפיר קורה בקמרון אבן, בדומה לפיר 3. רוב הממצאים באתר שנמצאו מעל פיר 4 מתוארכים למאה הב' לפסה"ג, וחלקם למאה הא' לפסה"ג. עם זאת, כדי לקבל תאריך מדויק יותר למועד חציבת הפיר והמנהרה נדרשת חפירה שתבחן מחדש את גבולות פתח הפיר ביחס לאתר שמעליו, את הממצאים שבבסיס הקמרון ואת אלו החתומים מעליו.

8 למיטב ידיעתי, עד כה לא נלקחו מדידות גובה מדויקות משני צידי המנהרה בעזרת RTA ונתון זה מבוסס על מפות טופוגרפיות.

ייתכן שדגם הסיתות של פיר 4 רומז אף הוא לתאריך בתקופה ההלניסטית-החשמונאית. צורת הסיתות – ברגיטרים שכיוונם מתחלף, באופן המזכיר דגם אידרה – נפוצה מאוד בבורות המים הפעמוניים בשפלת יהודה, כמו למשל בעיר ההלניסטית מרשה (Kloner et al. 2003), שנכבשה בידי יוחנן הורקנוס (יוסף בן-מתתיהו, **קדמוניות היהודים** יג). ייתכן שהטכנולוגיה, הקשורה לחציבה בסלע הקרטון,⁹ אומצה על ידי יוחנן הורקנוס והוטמעה בחציבת אמת המים לירושלים.

שקלול עדויות אלו עם שאר המאפיינים הייחודיים של מנהרת ארמון הנציב ופיריה (צורתם העגולה והאנכית, מרווח הפירים שאינו אחיד, אופן החציבה של המנהרה ודפוס החציבה שאינו אחיד, הבחירה בסלע הקרטון הרך וכו'), וביחס ליתר המנהרות באמות המים לירושלים, מעיד על בית מדרש שונה, ייחודי, ובוודאי קדם-רומי. לאור זאת, אני מציע שאמת המים התחתונה היא הקדומה מכולן ונבנתה בתקופה החשמונאית, בימי יוחנן הורקנוס (134–104 לפסה"נ לערך).¹⁰

בראשית המחקר סברו, שאמת הערוב היא המשכה הישיר של אמת המים התחתונה וששתיהן בנות אותה תקופה (למשל איור 2:א). הקר (תשמ"ז) היה ככל הנראה החוקר הראשון שהציע להפריד בין השתיים, ומזר הסכים עמו והציע שהאמה השנייה נועדה לתגבר את הראשונה: "את אמת הערוב אפשר לראות כתוספת לאמה התחתונה המקורית שנועדה להגביר את כמות המים שמערכת האמות הובילה" (מזר תשמ"ט:188). יצוין, שההבדלים המורפולוגיים שזוהו בסקר החדש בין מנהרת ארמון הנציב למנהרה הצפונית של אמת הערוב, מעידים בהכרח על פער כרונולוגי בין האמות.

אורכה המרשים של אמת הערוב (כ-40 ק"מ אורך), והגובה השגוי שבו החלה להיחצב המנהרה הצפונית של אמה זו, מלמדים שהקמתה נמשכה תקופה ארוכה. כמו כן, הגמלון הפשוט שתועד במנהרה הדרומית דומה לזה שתועד במקטעים ארוכים במנהרת ארמון הנציב (להרחבה, ראו יחזקאל ואחרים תשפ"ב; ביליג תשע"ח) ובקטע האמה התחתונה בהר ציון (Bliss and Dickie 1898:54). לכן, אני מציע שאמת הערוב היא השנייה שהוקמה מבין ארבעת האמות. אם נקבל את ההצעה שהאמה העליונה הרודיאנית (טבלה 1), אזי ייתכן שבדומה לאמה התחתונה, גם אמת הערוב היא חלק ממפעל המים החשמונאי, אולי מימיו של אלכסנדר ינאי (102–76 לפסה"נ).

מדידות השיפוע שנערכו לאורך אמת הערוב הצביעו על רצון עז לשמור על שיפוע מינימלי, הן במנהרה הצפונית והן בחלקיה העיליים (ראו לעיל; טבלה 3). ייתכן שיש בכך עדות להקמת הברכה התיכונה מבין ברכות שלמה במקביל לאמה זו, שכן היא מגיעה בדיוק לראשה (ראו איור 2:ב).¹¹

9 על אף שתצורת מנוחה (מנהרת ארמון הנציב) ותצורת מרשה (שפלת יהודה) אינן זהות, וגילן הגיאולוגי שונה, בשתייהן סלע האם הוא קרטון.

10 פטריך (1980:1) הערה 46) הציע, שהאמה התחתונה נבנתה בין ימי יוחנן הורקנוס לימיו של אלכסנדר ינאי, ובכל אופן, רק לאחר המצור של אנטיוכיוס סידטס על העיר ירושלים סביב שנת 131 לפסה"נ. יוסף בן-מתתיהו (קדמוניות היהודים יג, 236) ציין, שצבאו של מלך זה סבל ממצוקת מים גדולה שנפתרה רק עם בוא הגשמים, ולכן סביר שלא הייתה אמה בזמן המצור, אחרת הצבא הסלווקי היה נעזר בה לצרכיו.

11 מזר (תשמ"ט) ציין, שאמת המים העליונה "מתחילה בגובה ראש הברכה התיכונה, הזהה לגובה הקצה הצפוני של אמת הערוב". ייתכן שיש בכך אישוש להצעתי, שאמת הערוב בהכרח קדומה לאמה העליונה. יודגש, שמעולם לא נעשו מדידות מדויקות, מבוססות RTK, לקביעת הגבהים של אמות המים באזור בריכות שלמה.

לדעתי, אמת הביאר היא המאחרת מכלל אמות המים ונועדה להזין את הברכה העליונה ששימשה מאגר תפעול לכלל מערכת המים. ההוכחה לכך פשוטה: לאחר יציאתה ממנהרת הפירים, אמת הביאר אינה מזינה את אמת הערוב הזורמת תחתיה ובתורה מזינה את הברכה התיכונה ואת האמה העליונה. גם בהמשך התוואי, לאחר שאמת הביאר מנצלת את המנהרה ברכס דהר בקו לאיסוף מים נוספים, היא אינה מתועלת לאמת הערוב, אלא זורמת לעבר הברכה העליונה בבריכות שלמה (איור 2:ב). באופן זה, מי אמת הביאר נאגרו בברכה העליונה והוזרמו משם באחת האמות, העליונה או התחתונה, לירושלים. יצוין, שספיקת אמת הביאר, שרובה תת־קרקעית, תואמת היטב את מהלך המשקעים השנתי, ועיקר ייעודה היה איסוף ספיקות שיא בחורף (להרחבה, ראו יחזקאל ואחרים תשפ"ב), בהתאמה למפלס מי התהום של האקוויפר שבו חצובה מנהרת הפירים, המעיין הקרסטי של עין ביאר, ולאור המחקר הנוכחי – גם האקוויפר מתחת רכס דהר בקו.

בחלקים שנסקרו בפני השטח נמצא דמיון בין האמה העליונה לאמת הערוב: שתיהן חצובות בסלע האם ומפותלות (איור 1:4ה; ו). בכך נבדלות אמות אלו מאמת הביאר, הבנויה על קירות תמך מסיביים (נתון שגם מזר ציין במחקריו, ראו איור 1:4ה-ז). כל אלה, ובעיקר הידע הגיאולוגי־ההידרולוגי שהוצג, מצביעים על מקור ידע שונה, אימפריאלי, שהובא לאזור ירושלים בימי הנציבים ויושם בהקמת אמת הביאר, כנראה בימי פונטיוס פילטוס (יחזקאל ואחרים תשפ"ב)¹².

סיכום

במאמר זה נעשה לראשונה ניתוח כולל ומשווה של שבע המנהרות חוצות־הרכס ששולבו באמות המים לירושלים. ההבדלים בין המנהרות, המתבטאים בצורת הפירים ובמרווחים שביניהם, בתצורת הסלע שבה הן נחצבו, השיפוע שלהן והמורפולוגיה הכללית, מעידים בהכרח על מסורות בנייה שונות. הסקר במנהרה הצפונית של אמת הערוב העלה כי צוות נפרד וייעודי הועסק במדידתה ובחציבתה, במנותק ועוד לפני שאמת המים העילית הגיעה לפתחה. במנהרה זו, וכן בפירים של מנהרת ארמון הנציב של האמה התחתונה, התגלו סימני צבע אדום, הקשורים, ככל הנראה, לסימון תוואי ועומק, ולהכוונת החוצבים. אלו עדויות לתכנון מקדים וליכולות המקצועיות בתחומי הנדסת המים במערך אמות המים לירושלים. אלו הם סימני הצבע הראשונים שתועדו בישראל בהקשר של אמות מים. מדידות RTA במנהרות השונות, המשמרות את הגובה המדויק והמתוכנן של אמת המים, הראו שהשיפוע של רוב האמות קטן מאוד מזה שמצוטט במחקר עד כה.

ערכי הקצה ביחס שבין מנהרה/חלופה עילית, נמוכים מאוד או גבוהים מאוד, מצביעים על כך שמניעיו של הליברטור להעדיף מנהרה לא נבעו רק משיקולים של היקף העבודה. כך למשל באמות הערוב והביאר, שבהן תכננו הליברטורים להפיק מים לאורך האמות: אמת הערוב אספה לפחות חלק מהנגר העילי שזרם מעל תוואי האמה, ולכן היחס בין מנהרה לחלופה העילית היה גבוה מאוד; ואילו

12 דגימות טיח נלקחו ממנהרות אמת הערוב, האמה העליונה, והאמה התחתונה לטובת תארוך בפחמן 14. אני מקווה שבאמצעותן ניתן יהיה לאושש או להפריך את הכרונולוגיה שהוצעה בזאת.

באמת הביאר הופקו מים מהאקוויפר התת-קרקעי בחציבת מנהרת דהר בקו, ולכן היחס בין המנהרה לחלופה העילית היה נמוך מאוד.

לבסוף, הוכח שהמנהרות באמת המים התחתונה שונות מאוד מאלו שנחצבו לאורך האמה העליונה, אמת הערוב ואמת הביאר. הנתונים שנאספו מעידים על מקור ידע שונה, קדם-רומי, לאמה זו. בהתבסס על כל הנתונים שנאספו, אני מציע שאמת המים התחתונה היא הקדומה מכולן ונוסדה בראשית התקופה החשמונאית, ולאחריה נוסדה אמת הערוב, האמה העליונה ולבסוף אמת הביאר. כמו כן, אני מציע בזהירות שגם אמת הערוב היא חשמונאית, והשתיים המאוחרות הן מהתקופה הרומית הקדומה.

הפניות

ביליג י' תשע"ב. אמת המים העליונה כנסיית הקטיסמה ושרידים אחרים לצד דרך חברון לירושלים. **עתיקות** 69:69-90.

ביליג י' תשע"ח. החפירות במנהרת ארמון הנציב. **עתיקות** 90:1-53.

דדון מ' וזלינגר י' 1997. שישה קטעים נוספים של אמת המים העליונה לירושלים. **עתיקות** 32:83-86.

הקר מ' תשס"ז. הספקת המים בירושלים בימי קדם. בתוך מ' אבי-יונה, עורך. **ספר ירושלים**. ירושלים. עמ' 191-218.

זילברבוד א', ויחזקאל ע' בדפוס. אמת המים העליונה, רכבת קלה רוזמרין. **חדשות ארכיאולוגיות** דו"ח סופי.

יחזקאל ע' וזילברבוד א' תשפ"ה. גילוייה ומשמעותה של מנהרה החוצה את קו פרשת המים הארצי בתוואי אמת המים העליונה לירושלים. בתוך י' זלינגר ונ' פרנקל, עורכים. **מחקרי ארץ יהודה ז'**. כפר עציון. עמ' 1-22.

יחזקאל ע', נגב י', פרומקין ע' וליבנר ע' תשפ"ב. חידושים במחקר האדריכלי, ההידרולוגי והכרונולוגי של אמת הביאר לירושלים. בתוך י' זלינגר, א' פלג-ברקת, י' עוזיאל וי' גדות, עורכים. **חידושים בארכיאולוגיה של ירושלים וסביבותיה** יד. ירושלים. עמ' 149-186.

מזר ע' תשל"ג. אמות המים הקדומות לירושלים. **קדמוניות** ה:120-124.

מזר ע' תשמ"ט. סקר אמות המים לירושלים. בתוך ד' עמית, י' הירשפלד וי' פטריך, עורכים. **אמות המים הקדומות בארץ-ישראל**. ירושלים. עמ' 169-195.

סולומון א' 2007. אמת המים מעיטם לבית המקדש לאור מגילות מקומראן. **ארץ ישראל** כח: 144-151.

פטריך י' 1980. אמת המים מעיטם והלכה צדוקית אחת. **קתדרה** 17:23-11.

צוק צ', מירון י' וולובלסקי ק' תשמ"ו. סקר אמת הביאר. **נקרות צורים** 13:109-129.

Amit D. 2002. New Data for Dating the High-level Aqueduct, the Wadi el Biyar Aqueduct, and the Herodion Aqueduct. In D. Amit, J. Patrich and Y. Hirschfeld eds. *The Aqueducts of Israel* (JRA Suppl. S. 46). Portsmouth, R.I. Pp. 253-266.

Amit D. and Gibson S. 2014. Water to Jerusalem: The Route and Date of the Upper and Lower Level Aqueducts. In C. Ohlig and T. Tsuk eds. *Cura Aquarum in Israel II: Water in Antiquity. Proceedings of the 15th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region*. Siegburg. Pp. 9-41.

Billig Y. 2002. The Low Level Aqueduct to Jerusalem: Recent Discoveries. In D. Amit, J. Patrich and Y. Hirschfeld eds. *The Aqueducts of Israel* (JRA Suppl. S. 46). Portsmouth, R.I. Pp. 245-252.

- Bliss F.J. and Dickie A.C. 1898. *Excavations at Jerusalem, 1894–1897*. London.
- Cuomo S. 2011. A Roman engineer's tales. *The Journal of Roman Studies* 101:143–165.
- Frankel R. 2002. The Hellenistic Aqueduct of Akko-Ptolemais. In D. Amit, J. Patrich and Y. Hirschfeld eds. *The Aqueducts of Israel*. (Journal of Roman Archaeology Supplementary Series 46). Portsmouth, R.I. Pp. 82–87.
- Frumkin A. 2015. Shafts and Surveys Errors of Ancient Tunnel Engineering in Jerusalem and Caesarea Water Systems, Israel. *Proceedings of the 15th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region*. Siegburg. Pp. 170–177.
- Gurevich D. 2020. The Enigma of the High-Level Aqueduct to Jerusalem and the Mamilla Water System. *Tel Aviv* 47:268–281.
- Kloner A. 2003. Subterranean Complex 21. In A. Kloner. *Maresha Excavations Final Report I: Subterranean Complexes 21, 44, 70* (IAA Reports 17). Jerusalem. Pp. 41–49.
- Matson G.E. and Matson E. 1940. *Photograph Collection*. Retrieved from <https://www.loc.gov/pictures/collection/matpc/>.
- Matthews K.D. 1970. Roman Aqueducts: Technical Aspects of Their Construction. *Expedition* 13:2.
- Mazar A. 2002. A Survey of the Aqueducts to Jerusalem. In D. Amit, J. Patrich and Y. Hirschfeld eds. *The Aqueducts of Israel* (JRA Suppl. S. 46). Portsmouth, R.I. Pp. 210–242.
- Patrich Y. and Amit D. 2002. The Aqueducts of Israel: An Introduction. In D. Amit, J. Patrich and Y. Hirschfeld eds. *The Aqueducts of Israel* (JRA Suppl. S. 46). Portsmouth, R.I. Pp. 9–20.
- Porath Y. 2002. Hydraulic Plaster in Aqueducts as a Chronological Indicator. In D. Amit, J. Patrich and Y. Hirschfeld eds. *The Aqueducts of Israel* (JRA Suppl. S. 46). Portsmouth, R.I. Pp. 25–36.
- Schick C. 1878. Die Wasserversorgung der Stadt Jerusalem. *Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins* 1:132–176.
- Speidel M.A. 2001. Specialisation and Promotion in the Roman Imperial Army. In L. De Blois ed. *Administration, Prosopography and Appointment Policies in the Roman Empire*. Leiden. Pp. 50–61.
- Tobler T. 1859. *Titus Toblers dritte Wanderung nach Palästina im Jahre 1857: Ritt durch Philistäa, Fussreisen im Gebirge Judäas und Nachlese in Jerusalem*. J. Perthes. Gutha
- Whitty J.I. 1863. *Proposed Water Supply and Sewerage for Jerusalem, With Description of Its Present State and Former Resources*. London.
- Wilson C.W. 1865. *Ordnance Survey of Jerusalem*. Lodon.
- Wilson C.W. 1905. Centurial Inscriptions on the Syphon of the High-Level Aqueduct at Jerusalem. *Palestine Exploration Fund Quarterly Statement* 37.1:75–77.
- Yechezkel A., Negev Y., Frumkin A. and Leibner U. 2021. The Shaft Tunnel of the Biar Aqueduct of Jerusalem: Architecture, Hydrology, and Dating. *Geoarchaeology* 36/6:897–924.
- Yechezkel A., Frumkin A., R.L Edwards., X. Li., and Leibner U. 2024. Evolution of water extraction technology (spring tunnels) in the Southern Levant during the last three millennia. *Geoarchaeology* 39/4: 375-395

Ridge-crossing Tunnels in the Aqueducts to Jerusalem: A Morphological, Technological, Geological, and Relative Chronological Proposal

Azriel Yechezkel

Keywords: Librator, Jerusalem Aqueducts, Geoarchaeology, Hasmonean Period, Roman Period

During classical periods, the librator of an aqueduct was tasked with selecting the most efficient and safe route from the aqueduct's source to its destination. If a ridge had to be crossed, the librator had to choose between a long aboveground route circumventing ridge and a shorter tunnel cutting through it.

Seven ridge-crossing tunnels were integrated into the water supply system of Jerusalem: two in the Lower Aqueduct, one in the Upper Aqueduct, one in the Biar Aqueduct, and three in the Arrub Aqueduct. Some of the tunnels were recently resurveyed by the author. Careful analysis of all tunnels—their length, depth, and course, as well as the geological formation in which they were hewn, the number of shafts used, and their characteristics—alongside an examination of surface alternatives, indicated at least two “tunneling schools” that differ from each other in morphology as well as geological and hydrological knowledge.

Based on the information gathered, this article proposes a relative chronology for Jerusalem's four aqueducts. The Lower Aqueduct is the earliest, followed by the Arrub Aqueduct. The Upper Aqueduct comes next, with the Biar Aqueduct being the most recent. This chronology carefully suggests that the two earlier aqueducts, the Lower and Arrub, are Hasmonean, while the latter two are Early Roman.

In addition, red color markings, likely related to depth and direction measurements which were discovered in the Armon Ha-Netziv (Governor's Palace) tunnel, of the Lower Aqueduct, and in one of the Arrub Aqueduct tunnels, are also presented for the first time in this article.