



חידושים בארכיאולוגיה של ירושלים וסביבותיה

קובץ מחקרים
כרך יד

עורכים:
יחיאל זלינגר
אורית פלג־ברקת
יוסף (ג'ו) עוזיאל
יובל גדות

ירושלים, תשפ"ב

עורכים

יחיאל זלינגר
אורית פלג־ברקת
יוסף (ג'ו) עוזיאל
יובל גדות

עריכה לשונית:

רחל קודיש־ושדי
יוסף (ג'ו) עוזיאל

עריכת דוחות חפירה:

גלית סמאורה־כהן
וייאנה מוסקוביץ

סדר, עיצוב והבאה לדפוס

הגר מימון
אירה בנדרסקי

תצלום עטיפה

אחוזה מלכותית מפוארת מימי הבית הראשון בארמון הנציב (ציור: שלום קוולר, ארכיון עיר דוד)
בצד האנגלי: עמודון מעקה חלון וכותרת מהאחוזה המלכותית בארמון נציב (צילום: ש הלוי)

© כל הזכויות שמורות לרשות העתיקות

ת"ד 586, ירושלים 91 004
ISBN 978-965-406-744-7

הודפס בדיגיפרינט זהב בע"מ, תשפ"ב 2021

תוכן העניינים

9	בפתח הקובץ
15	חפירות ומיזמי שימור במרחב ירושלים בשנות תש"ף (2019–2020) יחיאל זלינגר ואבי משיח
	חומות ירושלים בתקופת הברזל
*1	"ואת בתי ירושלים ספרתם ותתצו הבתים לבצר את החומה" (ישעיהו כב:10): ביצורי ירושלים בתקופת הברזל ב' לאור חפירות חדשות פיליפ ווקסוביץ', אורטל כלף ויוסף (ג'ו) עוזיאל
39	ביצורי המדרון המזרחי של עיר דוד בשטחים J ו-A: דיון מחודש אפרת בוצר
*17	סוף המיתוס: הגבעה הדרומית-המערבית של ירושלים בשיח הארכיאולוגי דיטר פיווגר, ג'ניפר זימני וקטיה סונקן
	הנוף המלכותי של ירושלים
55	אתר הרוגם במורדות ארנונה: מסקנות ארכיאולוגיות והיסטוריות ראשונות נתן בן-ארי, נריה ספיר, ליאורה פרויד ועודד ליפשיץ
77	אחוזת מלכותית מפוארת מימי הבית הראשון בארמון הנציב יעקב ביליג, ליאורה פרויד ואפרת בוצר
101	שרידים של תולעי מעיים מתקופת הברזל 2 מארמון הנציב דפנה לנגוט ויעקב ביליג
*39	מבט מחודש על הר גריזים: ייסוד המתחם והכתורות הפרוטו־איאליות ערן אריה
	כותלי הר הבית ושערי
113	אי שם מעבר לקשת: על הגישה לבית המקדש ולהר הבית מעל קשת וילסון תהילה ליברמן, יוהנה רגב, אליזבטה בוארטו ויוסף (ג'ו) עוזיאל
129	סקר שימור אבני הכותל המערבי יהונתן צחור, יוסי וקנין, יעל קלמן ודורית ציפשטיין
*65	שיקוף GPR של הכותל המערבי אורי בסון



מים בירושלים ומים לירושלים

- חידושים במחקר האדריכלי, ההידרולוגי והכרונולוגי של אמת הביאר לירושלים 149
עזריאל יחזקאל, יואב נגב, עמוס פרומקין ועוזי ליבנר
"לך ורחץ בבריכת השילוח" (יוחנן ט:7): כנסיית השילוח ומקומה במערך העירוני של ירושלים הביזנטית 187
ארי לוי, אורטל כלך, מורן חג'בי ונחשון זנטון

חיבורים תרבותיים באומנות ירושלים וסביבותיה

- מזרח ומערב נפגשים בתיאטרון המלך הורדוס: עיטורי הטיח המכיר באולם המלכותי בראש התיאטרון בהרודיון *89
נעמה שרעבי
מחקר חדש של "פסיפס הציפורים" הארמני מצפון לשער שכם *119
עמית ראם, ראלב אבו־דיאב, ג'ק נגר, יוסי נגר, אליזבטה בוארטו ויאנה צ'חנבץ
אנטומיה של כלי: פריט חרס רומי ייחודי מחפירות מוצא *143
שולמית טרם, ענת כהן־וינברגר, אנה אייריך־רוז ורבקה בן־שלוש ועוזי עד
צלב אבן (ח'צקאר) מהגן הארמני והקשריו התרבותיים, האומנותיים וההיסטוריים 213
רינה אבנר וארשק רפאל ראזריאן

ירושלים תחת שלטון האסלם

- ההתפתחות העירונית ממערב להר הבית/אל־חראם א־שריף: מבט מחפירות רחבת הכותל 231
ברק מוניקנדס־גבעון, תהילה שדיאל, אורטל כלך ומיכאל טשרנין
בין צלבנים לאיובים: גילויים חדשים לאורך החומה המזרחית של ירושלים 249
עמית ראם, מיכאל טשרנין, יוהנה רגב, אליזבטה בוארטו ודוד יגר
חברות פסטורליות וכפרים: תפרוסת היישוב בשפלה הממלוכית *165
קייט רפאל

דוחות חפירה ושימור

- מערות מפלט מהתקופה הרומית הקדומה בגדה הדרומית של נחל ארזה 289
דניאל עין מור
החפירות במלון גלוריה, סמוך לשער יפו בירושלים: שרידי בנייה מהתקופה הרומית הקדומה, הביזנטית המאוחרת, הצלבנית-האיובית והעות'מאנית 309
אנט לנדס־נגר
כלי החרס מתקופת הברזל עד התקופה הביזנטית ממלון גלוריה, ירושלים 325
דבורה סנדהאוז
רעפי חרס הנושאים טביעות של הליגיון העשירי פרטנזיס ממלון גלוריה, ירושלים *193
בנימין ג' דולינקה



כלי החרס מהתקופות האסלאמיות ממלון גלוריה, ירושלים	*199
בנימין ג' דולינקה	
כלי הזכוכית ממלון גלוריה, ירושלים	*219
בריג'יט אונונה	
בסיס פסל שיש ממלון גלוריה, ירושלים	337
ליהיא חבס	
טיחיסיד מתקופת הברזל 2 עד התקופה הביזנטית בירושלים וסביבתה: זיהוי אגרגטים	*225
והצעה להגדרה טיפולוגית	
עליזה ואן זיידן ויותם אשר	

רשימת מחברים

galeb@israntique.org.il	ראלב אבו־דיאב, רשות העתיקות
rinaav@israntique.org.il	רינה אבנר, רשות העתיקות
brigitte@israntique.org.il	בירג'יט אוננה, רשות העתיקות
analexrose@gmail.com	אנה אייריך־רוז, רשות העתיקות
earie@univ.haifa.ac.il	ערן אריה, אוניברסיטת חיפה
yotama@israntique.org.il	יותם אשר, רשות העתיקות
Elisabetta.Boaretto@weizmann.ac.il	אליזבטה בוארטו, מכון ויצמן למדע
efratbocher@hotmail.com	אפרת בוצר, המרכז לחקר ירושלים הקדומה
	ואוניברסיטת בר אילן
yaakovbilig@gmail.com	יעקב ביליג, רשות העתיקות
nathanba@israntique.org.il	נתן בן־ארי, רשות העתיקות
rifka.pfister@hotmail.com	רבקה בן־שלוש, רשות העתיקות
ubasson@gmail.com	אורי בסון, רשות העתיקות
Frarshakuni@yahoo.com	ארשק רפאל ראזריאן, חוקר עצמאי
sherd_boy@hotmail.com	בנימין ג' דוליניקה, רשות העתיקות
filiprvm@gmail.com	פיליפ ווקוסוביץ, המרכז לחקר ירושלים
yossiv@israntique.org.il	יוסי וקין, רשות העתיקות
alizavanz@gmail.com	עליזה ואן זיידן, רשות העתיקות
zimni@bai-wuppertal.de	ג'ניפר זימני, המרכז הגרמני
	הפרוטסטנטי לארכיאולוגיה
yehiel@israntique.org.il	יחיאל זלינגר, רשות העתיקות
nahshon.sz@gmail.com	נחשון זנטון, רשות העתיקות
habaslihi@gmail.com	לי־היא חבס, האוניברסיטה העברית
moranhb@gmail.com	מורן חג'בי, רשות העתיקות
shulamit.terem@gmail.com	שולמית טרם, רשות העתיקות
michaelc@israntique.org.il	מיכאל טשרנין, רשות העתיקות
davidye@israntique.org.il	דוד יגר, רשות העתיקות
azriel.ye@gmail.com	עזריאל יחזקאל, האוניברסיטה העברית
anatcowein@gmail.com	ענת כהן־ויינברגר, רשות העתיקות
ortalca11@gmail.com	אורטל כלף, רשות העתיקות
ari_levy@hotmail.com	ארי לוי, רשות העתיקות
leibner1@gmail.com	עוזי ליבנר, האוניברסיטה העברית
tzil613@gmail.com	תהילה ליברמן, אוניברסיטת בר אילן

lipschit@tauex.tau.ac.il
dafna.langgut@gmail.com
barak.monnickendam-givon@mail.huji.ac.il
avimashi@gmail.com, negevy@gmail.com

anetlandes@gmail.com
negeur@yahoo.com
yossi@israntique.org.il
soennecken@bai-wuppertal.de

debby.reen@gmail.com
neria@israntique.org.il
ad@israntique.org.il
joeuziel@gmail.com
danieleinmor@gmail.com
vieweger@bai-wuppertal.de

amos.frumkin@mail.huji.ac.il
freudliora@gmail.com
tzahory@israntique.org.il
yanatchk@gmail.com
doritt@israntique.org.il
yaelk@israntique.org.il
reem@israntique.org.il
johanna.regev@gmail.com
kate.raphael@mail.huji.ac.il
tehilas@israntique.org.il
naama.sharabi@mail.huji.ac.il

ygadot@gmail.com
yehiel@israntique.org.il
joeuziel@gmail.com
orit.peleg@mail.huji.ac.il

עודד ליפשיץ, אוניברסיטת תל אביב
דפנה לנגוט, אוניברסיטת תל אביב
ברק מוניקנדאם-גבעון, רשות העתיקות
אבי משיח, רשות העתיקות,
יואב נגב, מועדון שוחרי המערות של ישראל
אנט לנדס-נגר, רשות העתיקות
ג'ק נגר, רשות העתיקות
יוסי נגר, רשות העתיקות
קטיה סונקו, המרכז הגרמני הפרוטסטנטי
לארכיאולוגיה

דבורה סנדהאוס, רשות העתיקות
נריה ספיר, רשות העתיקות
עוזי עד, רשות העתיקות
יוסף (ג'ו) עוזיאל, רשות העתיקות
דניאל עין מור, רשות העתיקות
דייטר פיווגר, המרכז הגרמני הפרוטסטנטי
לארכיאולוגיה

עמוס פרומקין, האוניברסיטה העברית
ליאורה פריד, אוניברסיטת תל אביב
יהונתן צחור, רשות העתיקות
יאנה צ'חנובץ, אוניברסיטת בן-גוריון
דורית ציפשטיין, רשות העתיקות
יעל קלמן, רשות העתיקות
עמית ראם, רשות העתיקות
יונה רגב, מכון ויצמן למדע
קייט רפאל, האוניברסיטה העברית
תהילה שדיאל, רשות העתיקות
נעמה שרעבי, האוניברסיטה העברית

עורכים:

יובל גדות, אוניברסיטת תל אביב
יחיאל זלינגר, רשות העתיקות
יוסף (ג'ו) עוזיאל, רשות העתיקות
אורית פלג-ברקת, האוניברסיטה העברית

חידושים במחקר האדריכלי, ההידרולוגי והכרונולוגי של אמת הביאר לירושלים

עזריאל יחזקאל, יואב נגב, עמוס פרומקין ועוזי ליבנר

מבוא

לירושלים הייתה מאז ומעולם בעיה של אספקת מים בשל מיקומה הטופוגרפי ומיעוט של מקורות מים יציבים בקרבתה. כל עוד אוכלוסיית העיר הייתה מצומצמת, כפי שהיה למשל בתקופת הברזל 2 (1000-586 לפסה"נ בקירוב), די היה במי מעיין הגיחון הנובע למרגלותיה ובאיסוף מי נגר עילי כדי לספק את צורכי תושביה. למן התקופה החשמונאית, במאה הב' לפסה"נ, גדלה ירושלים באופן מואץ. על פי אומדנים שמרניים, במאה הא' לסה"נ מנתה אוכלוסיית העיר 20,000-30,000 נפש (גבע תשס"ח; רייך תשע"ג). כמו כן, המים הרבים שנדרשו לעבודת המקדש, והעלייה הניכרת במספר עולי הרגל שהגיעו לעיר כמה פעמים בשנה (ספראי תש"ף: 214-216), חייבו מציאת פתרונות לאספקה סדירה של כמויות גדולות של מים. כמות גדולה של מים נצטרכה גם לאחר חורבן ירושלים, עם ייסודה של הקולוניה הרומית איליה קפיטולינה בראשית המאה הב' לסה"נ (Weksler-Bdolah 2019). הפתרון העיקרי למצוקה זו נמצא בהובלת מים העירה באמצעות מערכת של אמות מאזור הר חברון שמדרום לעיר, שם המעיינות שופעים ונובעים בגובה רב. במערכת זו ארבע אמות מים נפרדות, שבמרכזן שלוש בריכות אגירה גדולות המכונות "בריכות שלמה".

במאמר זה נידונה האמה שמקורה בנחל הפירים ושהובילה מים מעין הביאר, הנמצא כ־16 ק"מ מדרום לירושלים, אל בריכות שלמה (להלן: 'אמת הביאר'). אורכה של האמה כ־5 ק"מ, ובה חמישה חלקים עיקריים: מעיין קרסטי, מנהרה תת־קרקעית ובה פירים לאיחוז מי תהום (Cuniculus; להלן: 'מנהרת הפירים'), אמה עילית, מנהרה חוצה רכס (להלן: 'מנהרת דהר בקו'), ושוב אמה עילית המסתיימת באזור בריכות שלמה (איור 1). במאמר נתאר כיצד בעזרת טכנולוגיה מתקדמת ושימוש בארכיטקטורה ייחודית הצליחו בוני האמה להגדיל באופן ניכר את כמות המים שסופקה לירושלים, באמצעות פיתוחה של מנהרת הפירים.

אמת הביאר בספרות המחקר

התיעוד הידוע הראשון של אמת הביאר הוא מן התקופה העות'מאנית. בינואר 1552 הוקצו 2000 סלאטנים (מטבעות זהב) מחצר הסולטן לשיפוץ האמה במטרה לשוב ולהזרים בה מים לירושלים (סלמה וזילברמן 1960:146; 95:1986 Heyd).

[illegible]

ארמטה פיירוטי ביקר בבריכות שלמה בשלהי שנות ה־50 של המאה ה־19 והזכיר את אמת הביאר בעקיפין. לדבריו, בריכות שלמה ניזונו משתי אמות: האחת, מאזור חלחול (דהיינו 'אמת הערוב'), והאחרת, "from the mountains near Etham", שהזינה את הבריכה העליונה בבריכות שלמה (Pierotti 1864:249). ויקטור גרן סייר בסביבה, כנראה באוגוסט 1863, וציין לראשונה את שמו של הנחל שבו עוברת האמה, ואדי ביאר (وادي البيار; להלן: 'נחל הפירים'). בראש הנחל הוא תיאר פתח הניתן לסגירה בדלת, שממנו יורד גרם מדרגות אל נקרה חצובה בסלע, ובו עין הביאר, מקור המים של אמת הביאר. לפי גרן, שם המעיין הוא ראס אל־עין עטאן/עטאן (Ras-el-Ain/A'than) והוא המקור "של המעיין הקרוב יותר לבריכות שלמה ששמו עין עטאן" (גרן 1863:264).

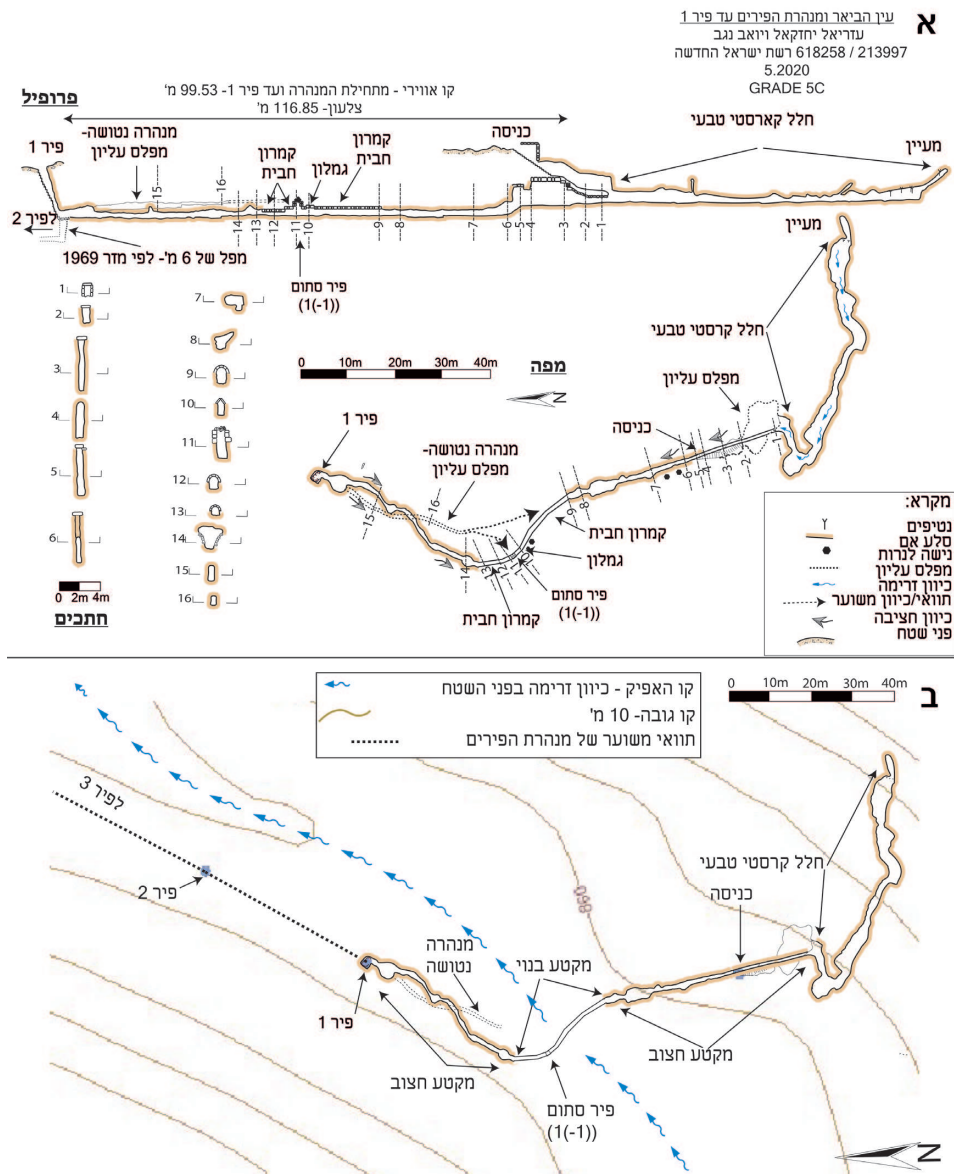
צ'רלס וילסון תיאר במפותיו שני סעיפים של אמת הביאר: האחד הזין ישירות את הבריכה התחתונה, והאחר הקיף את העליונה בבריכות שלמה והזין ישירות את האמה העליונה, אם כי החיבור לא זוהה בשטח. וילסון גם היה הראשון לשרטט את תוואי המנהרה העוברת דרך רכס דהר בקו. וילסון ביקר במקור המים של אמת הביאר, עין הביאר, וציין ששמו הוא ביר א־דרג' (بئر الدرج; Bir ed-Durragee, ובתרגום לעברית: באר המדרגות) (Wilson 1865:82). וילסון ווורן ציינו שאורכה של אמת הביאר כ־4 מייל (כ־6.4 ק"מ) ושהיא יבשה ברובה, למעט האזור הסמוך לבריכות שלמה (Wilson and Warren 1871:184). כן הם העירו שהאמה העליונה, שראשיתה לדעתם באמת הביאר, היא "One of the most remarkable works in Palestine" (Wilson and Warren 1871:19).

סוקרי־SWP ציינו שבנובמבר 1873 עין הביאר היה יבש. הם עמדו על הדמיון שבין הפירים במנהרת הביאר לאלו שבמנהרת ג'סר א־זרקא שהובילה מים לקיסריה (Conder and Kitchener 1883:90). את המחקר המקיף הראשון על מערכות המים הקדומות לירושלים ערך קונרד שיק, שהיה הראשון לציין את חמשת חלקיה העיקריים של אמת הביאר (Schick 1878:153). מוצאה של מנהרת הפירים בנקודה שבה הנחל מתרחב, ושם שמו מתחלף מואדי ביאר לואדי אל־בנאת (وادي البنات; נחל הבנות) (איור 1:א). שיק ציין שסמוך לנקודה זו נמצא סכר מסיבי שיצר בריכה גדולה, שהייתה סתומה בימיו באדמה. להערכתו, במנהרת הפירים היו כ־50 פירים, 12 מהם היו פתוחים בימיו (Schick 1878:153). שיק ציין גם שרידים של אמה עילית, ובה צינור חרס, מעין המערה (Ein el-Meghara), ואולי גם מעין פער (Ein Faghur), המזינים את מנהרת הפירים הראשית שבנחל (איור 1:א). הוא שרטט את עין הביאר ואת תחילת מנהרת הפירים בסכמתיות וציין שבראש גרם המדרגות היורד לעין הביאר בנוי קמרון קדום. כמו כן, הוא תיאר את פני השטח ואת ההטיה של השכבות באזור, המכוונות את מי הגשמים בסביבה אל ואדי ביאר. אלו מסבירים לדעתו מדוע מנהרת הפירים מזרימה מים כל השנה (Schick 1878:156).

מסטרמן ציין שעין הביאר וראשית מנהרת הפירים היו יבשים לחלוטין בנובמבר 1901 והדגיש את טיב הבנייה של החלקים העיליים של אמת הביאר, את השתמרות הטיח ואת דמיונה לאמה התחתונה לירושלים. אמת הביאר הזינה את הבריכה התחתונה, אך אפשר היה לזהות את מהלכה סביב הבריכה העליונה (Masterman 1902:102).

הקר ציין שאורכה הכולל של אמת הביאר 5.5 ק"מ. הוא העריך ש־2.5 ק"מ ממנה הם מנהרת פירים שעומקה מגיע ל־30 מ' (הקר תשט"ז:216).

פרומקין ומירון הראו שעין הביאר נובע מתוך חלל קרסטי טבעי, כ־84 מ' אורך, שהתפתח בסלעי גיר וחואר מן הפרט העליון של תצורת בית מאיר. למחילה הקרסטית שני שלבי התפתחות עיקריים, פראטי (רווי במים) וואדוסי (מאורר), ולאורכה סימנים לפעילות קרסטית ענפה (מירון ופרומקין 1986:1; איור 2:א).



איור 2. א) עין הביאר ומנהרת הפירים עד פיר 1 – תכנית, פרופיל וחתיכים; ב) מיקום עין הביאר ומנהרת הפירים עד פיר 1 במפה טופוגרפית – המעבר ממנהרה חצובה למנהרה מקורה בקמרון חבית וגמלון נגרמה מחציית נחל הפירים (שרטוט: ע' יחזקאל).

סקר ממוקד של אמת הביאר נעשה בידי צ' צוק וחוקרי המרכז לחקר מערות (מלח"ם; צוק, מירון וולובלסקי 1986: 1). לפי סקר זה, אורכה של מנהרת הפירים 2773 מ' ושיפוע כלל המערכת, מעין הביאר עד בריכות שלמה, 0.73 מעלות (12.8 פרומיל). בסקר מופה פיר 23, המכונה מתקן הביקורת, כחדר תת־קרקעי, מלבני, הבנוי גזית בסיתות שוליים ודרכו ניתן לרדת למנהרת הפירים (צוק, מירון וולובלסקי 1986: 117; ראו להלן).

משנת 1969 ערך ע' מזור סקר מקיף של כלל מערכות המים לירושלים (מזור 1989: 1; Mazar 2002). בהסתמך על הסקר של צוק (ראו לעיל), ציין מזור בפרסומיו שאורך מנהרת הפירים כ־3 ק"מ ושהיא חצובה בעומק 8–23 מ' מפני השטח. הוא הדגיש שמטרת המנהרה לא הייתה רק הידראולית, קרי להזרים את מי עין הביאר לבריכות שלמה, אלא גם הידרולוגית, דהיינו להגדיל את כמות המים באמצעות מנהרה. על פי עדות פועלים שעבדו בניקוי מנהרת הפירים בשנת 1924, נצפו בה סך הכול 80 פתחים. מזור ציין שמאז השיפוץ הבריטי, אמת הביאר הייתה מקור המים העיקרי של בריכות שלמה. במפתו ציין מזור לראשונה סעיף של אמה היורדת מעין אל־עצפיר (Ein el-'Asfir) ומתחברת לאמת הביאר (Mazar 2002; איור 1א, וראו להלן). מזור ציין את מידותיו של הסכר הקדום במוצא מנהרת הפירים, שהוזכר גם אצל שיק: אורכו 30 מ', רוחבו 2.5 מ' וגובהו 4 מ'. כחלק משיקום אמת הביאר בתקופת המנדט נבנה במקביל אליו ממערב סכר גדול, שנועד לאגום את מי השיטפונות שנחל ביאר ובכך להעשיר את חלחול המים במקטע האחרון של מנהרת הפירים (Mazar 2002: 1).¹

בסקר תת־קרקעי שערכנו בעין פעור נמצאה מנהרת מים באורך כמה עשרות מטרים, הנמשכת מהמעין במעלה הערוץ, אך לא לעבר אמת הביאר (יחזקאל ואחרים 2019). שרידים של צינור חרס בסביבות עין המערה אכן נתגלו, אך לא נראה שהיו קשורים לאמת הביאר (מירון 1986: 130).

מטרות ושיטות

מאמר זה הוא פרי סקר חדש שהתמקד במנהרת הפירים התת־קרקעית באמת הביאר. תחילתה של מנהרה זו בעין הביאר (נ"צ 61 8260/21 4008) וסופה סמוך לסכר הקדום (נ"צ 620329/21 5882) (איור 1). מטרת הסקר היו למפות את כל חלקיה הנגשים של המנהרה התת־קרקעית; להבין את ההיבטים הגיאולוגיים וההידרולוגיים הנוגעים לדרך פיתוחה של מערכת ה־Cuniculus; לאסוף נתונים מדויקים בנוגע לשיפועה של האמה ולמהלכה בתת־הקרקע; ולתארך לראשונה את מפעל המים בכלים אנליטיים. עבודת השדה כללה ירידה אל כלל הפירים הנגשים כיום באמצעות ציוד מערות ייעודי (SRT-Single Rope Technique) ומיפוי המנהרה באמצעים מתקדמים (Disto-X ותכנת Topodroid). סך הכול מופו כ־1233 מ' של המנהרה התת־קרקעית והתגלו קטעים נרחבים שלה המתוארים כאן לראשונה.²

¹ מבוסס על חלקים מהסקר המלא של מזור משנת 1969 שלא פורסמו. הנתונים ההידרולוגיים המופיעים במאמר מבוססים על דוחות שנתיים של מהנדס המים לירושלים בתקופת המנדט שאסף מזור במסגרת אותו הסקר: A. Koch, *Annual reports on operation of the Jerusalem water supply Nos. 1–9, 1921–1931*, Jerusalem Municipality. בשל המצב כיום (Covid 19) הארכיונים המנדטוריים אינם נגישים לקהל. אנו מודים לע' מזור על האפשרות לעיין בארכיון שלו.

² הכניסה למנהרת הפירים מסוכנת. בחלק מהמקומות יש סכנת טביעה והתמוטטות. חלק מהפירים נמצאים בתוך שטחים פרטיים של תושבי אל־חאדר ואין להיכנס אליהם ללא רשות.

מנהרת הפירים של אמת הביאר לאור הסקר החדש

גיאולוגיה, הידרולוגיה ונתונים כלליים

מנהרת הפירים זורמת מתחת לאפיק נחל הפירים, שכיוונו הכללי דרום-מערב-צפון-מזרח. הנחל הרחב מצוי ממערב לעיר אפרת וממזרח לאלעזר ונווה דניאל, ולאורכו פזורות חלקות המעובדות בידי תושבי אל-חאדר. הנחל תחום ממזרח ברכס תלול ורציף, וממערב מתנקזים אליו כמה ערוצים רחבים (איור 1). ממוצע המשקעים הרב-שנתי באזור (1981–2010) הוא 561 מ"מ גשם (www.ims.co.il) תחנה 247212: ראש צורים) ובשנים 1860–1864 הוא עמד על כ-500 מ"מ (Wilson and Warren 1871:19). גודל אגן הניקוז של נחל הביאר הוא 7.9 קמ"ר. בחורף 1968/1969 ירדו 612 מ"מ גשם, ובסכר הבריטי שבמוצא הנחל נאגמו כ-70,000 מ"ק מים במספר אירועי שיטפון (Mazar 2002: Fig. 12). מכאן, שמקדם הנגר העילי באגן נחל הביאר (היחס בין נפח המשקעים לנפח המים הזורמים על פני השטח) עומד על 1.5–2.0%.

מבחינה גיאולוגית, ברובו המוחלט של אגן הניקוז חשופה תצורת בית מאיר מגיל קנומן תחתון (איור 1ב). תצורה זו בנויה מגיר/דולומיט משוכב היטב, ובו אופקי חוואר (רוט ופלכסר תשל"ז: 9; סנה ורוט 2012). בקו הרכס שממזרח לנחל, ובצד הצפוני של אגן הניקוז, קיימים מחשופים של תצורת עמינדב המתאפיינת בקרסט מפותח ובחלחול גבוה (יחזקאל ופרומקין 2019; Peleg and Gvirtzman 2010). המבנה הגיאולוגי הדומיננטי בסביבה הוא קמר חברון, שכיוונו הכללי דרום-צפון. ציר הקמר מצוי קילומטרים אחדים ממערב לקו הרכס המגדיר את גבולו המערבי של אגן הניקוז של הנחל, ועליו שוכנים היישובים אלעזר ונווה דניאל (רוט ופלכסר תשל"ז: 9). אזור המילוי החוזר המזין את מנהרת הפירים נאמד בעיקר לפי מחשופיה של תצורת בית מאיר ובהתאם לנטייה הכללית של השכבות באזור, מציר הקמר מזרחה. ניתן לראות שאזור המילוי החוזר חופף ברובו הגדול את אגן הניקוז העילי, ושטחו נאמד ב-6.23 קמ"ר. על פי חישוב של 561 מ"מ ממוצע גשם שנתי ו-15% מילוי חוזר (היחס בין נפח המשקעים למים המחלחלים לתת-הקרקע) בתצורת בית מאיר (Peleg and Gvirtzman 2010:26) פוטנציאל נפח המילוי החוזר של מנהרת הפירים בנחל הביאר עומד על 523,421 מ"ק לשנה (איור 1ב).

נתונים מנדטוריים, המבוססים על מדידות של חמש שנים וחצי, הראו שהספיקה השנתית הממוצעת של עין הביאר הייתה כ-30,000 מ"ק. ספיקת המעיין החלה לרוב לאחר שירדו 300 מ"מ גשם, דהיינו כ-60% מן הממוצע הרב-שנתי. בשנת הבצורת הקשה של 1924/5, שירדו בה 270 מ"מ גשם בלבד, המעיין היה יבש לחלוטין. אמת הביאר סיפקה לבריכות שלמה 91,000 מ"ק לשנה בממוצע. מנהרת הפירים, המנקזת את האקוויפר השעון בתת-הקרקע של נחל הביאר, הוסיפה לאמה מים בכמות כפולה מזו שסיפק עין הביאר (Mazar 2002:212).

על פי סכמת המרחק בקו אווירי בין כל הפירים המוכרים כיום בפני השטח מן המעיין עד המוצא, אורכה של מנהרת הפירים הוא 2952 מ' (לעומת 2773 מ' אצל צוק, מירון וולובלסקי 1986). על סמך הקטעים שמופו במסגרת מחקר זה, יש להוסיף למרחק זה לפחות 3% בשל עיקולים ופניות (טבלה 1) כך שאורכה בפועל נאמד ב-3040 מ'. גובה בסיס האמה בתחילת מנהרת הפירים, סמוך לעין הביאר,

טבלה 1. כלל הפירים שתועדו במהלך המחקר במנהרת הפירים (מידות במטרים)

הפיר	נקודת ציון	סוג הפיר	תיאור	אורך צלעון המיפוי מהפיר הקודם*	מרחק אווירי מהפיר הקודם	סטייה אופקית מפיר קודם (פער בין קו אווירי לקו הצלעון)	אחוז (%) התוספת למנהרה בהשוואה לקו אווירי מן הפיר הקודם	סטייה אנכית במפגש חוצבים מהפיר הקודם	עומק אנכי משפת הפיר עד תקרת המנהרה	שיפוע הפיר בצד המדרגות (מעלות)	שיפוע מנהרה מפיר קודם (מעלות)
0	X	X	תחילת מנהרת הפירים, גישה דרך גרם מדרגות היורד לעין הביאר	X	X	X	X	X	X		X
1 (-1)	X	בנוי	מופה מתוך המנהרה. בנוי בגזית וסתום. המרחק האווירי מתייחס למרחק בין פיר זה לתחילת המנהרה (פיר 0)	65.75	62.85	2.9	4.41	מדרגת	X	X	2.5
1	21 401 3 / 61 833 9	חצוב	לפי מזר, המשך המנהרה בתחתית פיר זה היה 6 מ' תחת מפלס הקרקעית כיום. שיפוע המנהרה נמדד לבסיס מפל זה	49.95	46.18	3.77	7.55	מדרגת	9.5 מ', עומק מקורי 15.5 מ'	70	6.8
2	21 403 3 / 61 837 4	?	לא זוהה בשטח; מיקום לפי צוק, מירון וולובלסקי (1986)	X	X	X	X	X	X	X	X
3	21 412 3 / 61 848 6	?	לא זוהה בשטח. מיקום לפי צוק, מירון וולובלסקי (1986)	X	X	X	X	X	X	X	X
4 (-1)	X	?	מופה מתוך המנהרה, כניסה מפיר 4 במעלה הזרימה. בקצה המיפוי גובה המים נושק לתקרה, אך נראה כבסיס הפיר	X	X	X	X	X	X	X	X
4	21 420 2 / 61 859 6	חצוב	פיר מרובע בולט מעל סביבתו; סמוך לו שבר של עמוד (?).	59.21	54.8	4.41	X	0.25	13.54	64	X

*הנתונים מתייחסים רק לפירים שזוהו בוודאות כסמוכים, מתוך המנהרה. המדידות נלקחו מבסיס הפירים, אלא אם צוין אחרת.

טבלה 1. (המשך)

הפיר	נקודת ציון	סוג הפיר	תיאור	אורך צלעון המיפוי מהפיר הקודם*	מרחק אווירי מהפיר הקודם	סטייה אופקית מפיר קודם (פער בין קו אווירי לקו הצלעון)	אחוז (%) התוספת למנהרה בהשוואה לקו אווירי מן הפיר הקודם	סטייה אנכית במפגש חוצבים מהפיר הקודם	עומק אנכי משפת הפיר עד תקרת המנהרה	שיפוע הפיר בצד המדרגות (מעלות)	שיפוע מנהרה מפיר קודם (מעלות)
5	21 4308/ 61 8739	חצוב	הפיר בנוי בחלקו העליון וחצוב בחלקו התחתון; סולם ברזל יורד אל תחתיתו; נמצא מוצף מים	X	X	X	X	X	X	X	X
6	21 4344/ 61 8789	בנוי	הפיר עגול, שעון בחלקו על קמרון קדום	X	X	X	X	X	8.4 מ' עד מכלס המים	X	X
7	21 4380/ 61 8840	בנוי	פיר סתום כולו, מעליו גדל עץ תאנה	X	X	X	X	X	X	X	X
8(-3)	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 8 במעלה הזרימה	X	X	X	X	X	X	X	0.4
8(-2)	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 8 במעלה הזרימה	34.41	32.47	1.94	5.64	0.5	18.18	64.3	0.4
8(-1)	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 8 במעלה הזרימה	36.27	35.65	0.62	1.71	0.2	13.79	70.3	0.4
8	21 4677/ 61 9260	חצוב	הפיר בולט מעל סביבתו, בנוי מאבן; הכניסה דרך לוח קירי שנעקר ממקומו	24.55	23.8	0.75	3.05	0.4	13.89	60	0.4
8(+1)	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 8 במורד הזרימה	35.77	34.65	1.12	3.13	0.43	10.44	62	0.4

טבלה 1. (המשך)

הפיר	נקודת ציון	סוג הפיר	תיאור	אורך צלעון המיפוי מהפיר הקודם*	מרחק אווירי מהפיר הקודם	סטייה אופקית מפיר קודם (פער בין קו אווירי לקו הצלעון)	סטייה אחוז (%) התוספת למנהרה בהשוואה לקו אווירי מן הפיר הקודם	סטייה אנכית במפגש חוצבים מהפיר הקודם	עומק אנכי משפת הפיר עד תקרת המנהרה	שיפוע הפיר בצד המדרגות (מעלות)	שיפוע מנהרה מפיר קודם (מעלות)
8(+2)	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 8 במורד הזרימה	31.78	31.66	0.12	0.38	0.64	9.66	61	0.4
9	21 4723/ 61 9343	?	הפיר מרובע, בנוי באבן; מדרגות בדופן הדרומית; סתום בזמורות גפנים בעומק 3 מ'	X	X	X	X	X	X	X	X
10	21 4783/ 61 9440	?	הפיר סתום, צמוד לטרסה בצד המזרחי של הערוץ	X	X	X	X	X	X	X	X
11	21 4800/ 61 9480	?	גל אבנים ברור וגדול באמצע השדה	X	X	X	X	X	X	X	X
12	21 4851/ 61 9519	חצוב	הפיר מלבני, בנוי עד לעומק של 5 מ' מאבנים מטויחות. ומשם חצוב במדרגות	X	X	X	X	X	15	61	X
12(+1)	21 4964/ 61 9596	?	זוהה בתצלום אוויר 1945 ו-2005	X	X	X	X	X	X	X	X
13	X	חצוב	זוהה מתוך המנהרה; בסיסו חצוב באבן; הכניסה מפיר 14 במעלה הזרימה	X	X	X	X	X	X	X	0.7-0.3

טבלה 1. (המשך)

הפיר	נקודת ציון	סוג הפיר	תיאור	אורך צלעון המיפוי מהפיר הקודם*	מרחק אווירי מהפיר הקודם	סטייה אופקית מפיר קודם (פער בין קו אווירי לקו הצלעון)	אחוז (%) התוספת למנהרה בהשוואה לקו אווירי מן הפיר הקודם	סטייה אנכית במפגש חוצבים מהפיר הקודם	עומק אנכי משפת הפיר עד תקרת המנהרה	שיפוע הפיר בצד המדרגות (מעלות)	שיפוע מנהרה מפיר קודם (מעלות)
14	215057/ 619668	חצוב	הכניסה לפיר דרך פתח צר בדופן המזרחית של סתימה מכוונת	57.56	54.92	2.64	4.59	מדורגת	14.31	68	0.7–0.3
15	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 14 במורד הזרימה	34.88	34.64	0.24	0.69	0.31	14.25	67	0.7–0.3
16	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 14 במורד הזרימה	40.58	39.24	1.34	3.30	0.57	12.05	66	0.7–0.3
17	X	חצוב	מופה מתוך המנהרה; כניסה מפיר 14 במורד הזרימה	33.11	32.72	0.39	1.18	0.41	8.88	65	0.7–0.3
18	215372/ 620002	חצוב	אותר מתוך המנהרה; כניסה מפיר 19 במעלה הזרימה; המרחק תואם תצלום אוויר משנת 2005	X	X	X	X	X	X	X	X
19	215388/ 620026	חצוב ובנוי	הפיר חצוב בחלקו העליון ובנוי בחלקו התחתון	32	X	X	X	1.2	8.68	62	0.8
19(+1)	X	?	הפיר בוטל זמן מה לאחר הקמת המערכת. כיום יש קמרון בנוי גזית במקום הפיר	X	59	X	X	מדורגת	X	X	0.8
20	215468/ 620137	בנוי	הפיר רבוע, בנוי כולו גזית, שעון על קמרון חבית	64	62	2	3.20	1.47	6.45	אנכי	0.8

טבלה 1. (המשך)

הפיר	נקודת ציון	סוג הפיר	תיאור	אורך צלעון המיפוי מהפיר הקודם*	מרחק אווירי מהפיר הקודם	סטייה אופקית מפיר קודם (פער בין קו אווירי לקו הצלעון)	אחוז (%) התוספת למנהרה בהשוואה לקו אווירי מן הפיר הקודם	סטייה אנכית במפגש חוצבים מהפיר הקודם	עומק אנכי משפת הפיר עד תקרת המנהרה	שיפוע הפיר בצד המדרגות (מעלות)	שיפוע מנהרה מפיר קודם (מעלות)
21	21 5533/ 620230	בנוי	הפיר רבוע, בנוי כולו בגזית, שעון על קמרון חביתי	114.8	108.4	6.4	5.90	X	6.9	אנכי	0.9
22	21 5594/ 620266	בנוי	הפיר רבוע, בנוי כולו בגזית, שעון על גמלון קמור, 2.4 מ' עליונים בנייה מודרנית	79.18	75.1	4.08	5.40	X	6.56	אנכי	0.9–0.8
22 (+1)	X	בנוי	הפיר רבוע, בנוי כולו גזית, שעון על גמלון מורכב. סתום מפני השטח, מופה מתוך המנהרה	X	X	X	X	X	4.3	אנכי	X
23	21 5699/ 620292	בנוי	גרם מדרגות יורד לחדר מקורה בקמרון חביתי; עומק מפני שטח דרך המדרגות ועד מפלס התעלה	X	105	X	X	X	4.5	X	X
24	X	בנוי	מופה מתוך המנהרה. גישה דרך פיר 23 במורד הזרימה. פיר רבוע בנוי בגזית, שעון על קמרון חביתי	33.43	33.1	0.33	0.99	X	4.4	X	X

טבלה 1. (המשך)

הפיר	נקודת ציון	סוג הפיר	תיאור	אורך צלעון המיפוי מהפיר הקודם*	מרחק אווירי מהפיר הקודם	סטייה אופקית (פער בין קו אווירי לקו הצלעון)	אחוז (%) התוספת למנהרה בהשוואה לקו אווירי מן הפיר הקודם	סטייה אנכית במפגש חוצבים מהפיר הקודם	עומק אנכי משפת הפיר עד תקרת המנהרה	שיפוע הפיר בצד המדרגות (מעלות)	שיפוע מנהרה מפיר קודם (מעלות)
24 (+1)	X	בנוי	מופה מתוך המנהרה. גישה דרך פיר 23 במורד הזרימה. פיר רבוע בנוי בגזית, שעון על קמרון חבית	48.87	48.2	0.67	1.37	X	1.3	X	X
25	215836/620308	בנוי	פיר מרובע בנוי כולו בגזית. שעון על קמרון חבית מצוי מתחת למנהול מבטון בסמוך לכביש	X	33	X	X	X	2.36	אנכי	X
מוצא המנהרה לפני השטח	215882.4/620329	X	נמצא בצד הצפוני של נחל הפירים, בסמוך לסכר הקדום.	X	50	X	X	X	X	X	X
ממוצע למנהרה חצובה	X	X		X	36.59	1.00	3.24	0.52	13.27	64.96	X
ממוצע למנהרה בנויה	X	X		X	64.35	2.87	3.42	X	5.18	X	X
ממוצע כולל	X	X		X	50.13	2.02	3.28	0.61	10.00	X	X

הוא 852.5 מ' מעל פני הים, ובמוצאה — 808 מ' מעל פני הים. חישוב הפרש הגובה האנכי (43.5 מ') על פני המרחק (3040 מ') מעלה שהשיפוע הכולל של המנהרה הוא 0.82 מעלות (כ־14 פרומיל).³ מערכת המים מתוארת להלן בסדר גיאוגרפי, מעין הביאר עד מוצא המנהרה אל פני השטח. מספור הפירים מתבסס על הסקר של צוק, מירון וולבלסקי (1986). פירים המתועדים כאן לראשונה סומנו ב־(+) לציון פיר המצוי במורד הזרם, וב־(-) לפיר במעלה הזרם, ביחס לפיר הממוספר הקרוב ביותר. מן הסקר הנוכחי עולה, שלמנהרת הפירים שני חלקים עיקריים השונים זה מזה מהותית: חלקה הראשון והעיקרי חצוב כולו בסלע האם, וחלקה השני בנוי גזית. הללו יתוארו בנפרד.

מנהרת הפירים החצובה

הירידה למנהרת הפירים היא דרך גרם מדרגות שבתחתיתו מסתיימת המחילה הטבעית של עין הביאר, שכיוונה מזרח-מערב, ומתחילה מנהרת הפירים, שכיוונה הכללי דרום-צפון (איור 2). אורך קטע המנהרה הראשון 21 מ' והוא מקורה בלוחות אבן מסיביים. גובהו בתחילה 1.7 מ', ובהמשך 5.5 מ' (איורים 2; א, חתך 3; 3:א). באמצע קטע זה הושארה קשת חצובה לתמיכה (איור 2:א, חתך 4), ולאחריה מונחים לוחות הקירוי בצד אחד על זיזים בנויים הבולטים מן הקיר (corbeling) (איור 2:א, חתך 5). נתונים אלו מעידים שתחילה נחצבה מפני השטח תעלה עמוקה, ולאחר קרייה הושתתה מעליה מערכת המדרגות (צוק, מירון וולבלסקי 1986).

לאחר קטע זה המנהרה משתפלת בתלילות והופכת חצובה כולה לאורך כ־30 מ'. בקטע הבא, בסיס המנהרה חצוב, אך חלקו העליון מקורה בקמרון חביתי או בגמלון, הבנויים מאבני גזית בסיתות שוליים וזיז גס (איורים 2:א, חתכים 9, 12; 3:ב). אורך קטע זה כ־20 מ', ובאמצעו פיר מרובע, בנוי גזית, סתום. הסיבה לשינוי ממנהרה החצובה כולה בסלע האם לתעלה מקורה גזית נעוצה בחציית אפיק נחל הפירים והמעבר מסלע אם לתווך קרקעי (איור 2:ב). בהמשך, שבה המנהרה להיות חצובה כולה לאורך כ־45 מ' עד פיר 1. מעט מדרום לפיר זה יש מנהרה חצובה, יבשה, שאורכה כ־20 מ', הנמצאת במפלס גבוה מהמנהרה הראשית. ייתכן שיש כאן טעות בתוואי ובגובה המדידות, שתוקנו באמצעות המנהרה הקיימת (איורים 2:א, פרופיל וחתכים 15, 16; 3:ג).

על פי הסקר של מזר, המשך המנהרה במורד הזרימה מבסיס פיר 1 היה נמוך כ־6 מ' ממפלס המנהרה המגיעה אל פיר 1 (איור 2:א, פרופיל). במיפוי שנעשה בשנות ה־80 הצטמצם עומק המדרגה בפיר ל־3 מ', כנראה בשל הצטברות של שפוכת (השווה בן יעקב 1985; צוק, מירון וולבלסקי 1986: 114). שיפוע המנהרה מתחילתה עד בסיס פיר 1 (1-), ומפיר 1 (1-) עד בסיס המפל בפיר 1, הם הגבוהים ביותר שנמדדו במנהרת הפירים (2.5 ו־6.8 מעלות בהתאמה; טבלה 1). אפשר להציע שני הסברים לסטייה אנכית גדולה זו: (1) המנהרה נחצבה משני כיוונים באותה עת, מעין הביאר לצפון ומפיר 20 לדרום (ראו להלן), ועם התקדמות החציבה התגלה הצורך בתיקון האנכי הגדול; (2) ההעמקה מכוונת ונועדה להסדיר את זרימת המים במקטע תלול זה באמצעות 'פיר נפילה' (dropshaft). ההסבר השני סביר יותר בעינינו, שכן שיפוע תלול ברצפת המנהרה עלול היה לגרום לזרימה טורבולנטית ולמערבולות

³ מנהרת הפירים ברובה בעלת שיפוע מתון יותר. כפי שמופיע במאמר, בבסיס פיר 1 קיים מפל של 6 מ'. מבסיס מפל זה עד מוצא המנהרה בפני השטח השיפוע הוא 12.4 פרומיל (0.7 מעלה). שיפוע דומה לכלל אמת הביאר נמדד בסקר של צוק, מירון וולבלסקי (1986), מן המעיין עד בריכות שלמה.



איור 3. מנהרת הפירים, מתחילתה עד פיר 1: (א) מנהרה חצובה בגובה 5 מ', מקורה בלוחות אבן (ראו איור 2:א, חתך 3); (ב) מנהרה חצובה מקורה בקמרן חבית בסיתות שוליים גס (ראו איור 2:א, חתך 9); (ג) מפלס המנהרה הנוטשה (2) אל מול מפלס המנהרה הראשית (1), סמוך לפיר 1 (צילום: י' נגב).

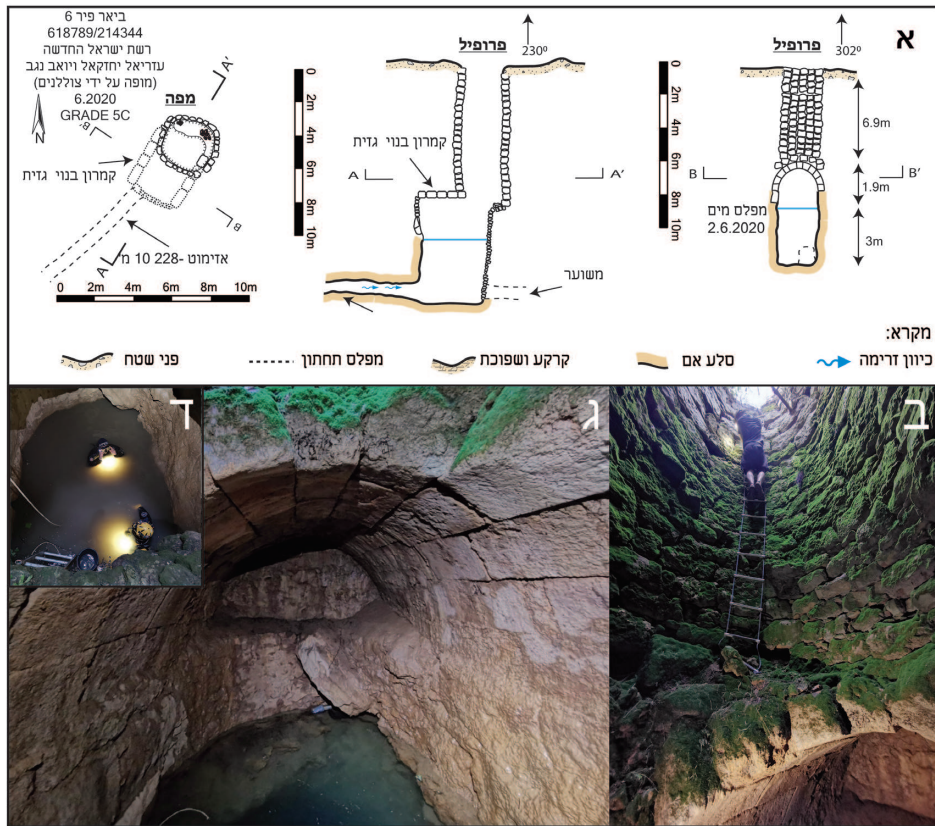
ולגלים שיביאו לשחיקה של מערכת המים. המפל בפיר 1, וחציבת המשך המנהרה במפלס גבוה מעט מבסיס פיר זה, ממתנים מידית את זרימת המים. ידע הידראולי זה היה מוכר היטב למהנדסי המים בתקופה הרומית (Chanson 2000). המדידות שנעשו ביתר חלקי מנהרת הפירים תומכות בהצעה זו, שכן נמדד בהם שיפוע מתון מאוד של פחות ממעלה אחת (טבלה 1) וסטיות אנכיות ואופקיות נמוכות (טבלה 2; ראו להלן).

מפיר 1 עד פיר 5 עובר תוואי המנהרה צמוד לשלוחה בגדה המערבית של הנחל. מפיר 4 ניתן להיכנס במאמץ לקטע באורך כ־60 מ' במעלה הזרימה; כאן יש מוקדים רבים שדרכם חוזרים מים עתירי גיר מומס משני צידי המנהרה.

בפיר 6 הובחנו שני שלבים כרונולוגיים ברורים: חלקו העליון עגול, בנוי באבנים גדולות, מהוקצעות חלקית, והוא שעון בבסיסו על קמרון חביתי קדום, בנוי גזית, שרוחבו 2.2 מ' ואורכו הגלוי לעין כיום 2.4 מ' (איור 4:א-ג). פיר זה ממוקם בנקודה שבה הערוץ היורד מכיוון עין אל־עצפיר נשפך לנחל הביאר. על פי מזר (Mazar 2002), בתוואי זה יש אמה משנית המזינה את אמת הביאר (איור 1:א). ייתכן אם כן, שהקמרון החביתי בתחתית הפיר הוא חלק מצומת תת־קרקעי המחבר בין המנהרה הראשית לאמה המשנית. אפשרות שנייה היא, שבשל חציית הערוץ, קיים בתת־הקרקע מעבר ממנהרה חצובה לתעלה בנויה, בדומה למעבר הקיים בין פיר 21 לפיר 22 (ראו להלן). במקרה זה, נראה שהקמרון נבנה כפיר ביקורת על נקודת המעבר. לא הצלחנו לבחון טענה זו ולהתקדם מפיר 6 במורד הזרימה, על אף סיוע של צוללנים (איור 4:ד) הצעה זו נסמכת בין היתר על הדמיון באופי הבנייה של הקמרון בבסיס פיר 6 לחדר עם הקמרון בפיר 23 (ראו להלן), ברוחבם ובמספר הנדבכים (השוו לאיורים 14:ה; 15). פיר 7 נמצא סתום, וממנו עד פיר 8 (כ־520 מ' בקו אווירי) לא ניתן להיכנס למערכת. מפיר 8 ניתן להיכנס לקטע באורך מצטבר של 189 מ' (איורים 5; 6). הכניסה היא בין אבני הכיסוי של פתח הפיר, השייכים כנראה לשלב הבנייה המקורי. בקטע שבין פירים 8–(2) ו־8–(3) תועדו נטיפים שאורכם כ־25 ס"מ (איור 6:ג). במורד הזרימה בין פיר 8 ל־8+ (1) קיים סכר מודרני, עשוי בטון, המעלה את מפלס המים במנהרה. דבר זה מאפשר שאיבת מים מן המנהרה אל פני השטח. באופן כללי, מפיר 8 ובמורד הזרימה גובהם של הפירים יורד (טבלה 1) בהתאמה להתרחקות תוואי המנהרה מן השלוחה אל האפיק.

מפיר 9 עד פיר 12 ניתן לעקוב אחר תוואי המנהרה על פי מיקום הפירים בפני השטח. כאן היא צמודה לגדה המזרחית של הנחל ועוברת בתוואי הקצר ביותר של עיקול הנחל כדי לחסוך עבודה. מפיר 12 עד פיר 14 המנהרה חוצה את אפיק הנחל ועוברת שוב לגדה המערבית. בין פיר 14 לפיר 19 אין שרידים בפני שטח; מפיר 14 ניתן לעבור בקטע כולל של 179 מ' במנהרה (איורים 7; 8) ולהבחין מתוכה בפירים 13, 15–18. במורד הזרימה בין פיר 16 ל־17 ישנה נביעת מים נוספת בדופן המנהרה (איור 8:ד).

חלקו העליון של פיר 19 בנוי גזית, וחלקו התחתון חצוב (איורים 9; 10:א-ב). מפיר זה, במעלה הזרימה ובמורדה, תקרת המנהרה עוקבת אחרי מישור השיכוב הגיאולוגי. הזנת המים מהאקוויפר לתוך המנהרה היא בכיוון נטיית השכבות, ומעידים על כך השכבות הרבות של משקעי המערות (flowstone) המכסות רק את הצד המערבי של חתך המנהרה (איורים 9: חתך 9; 10:ג). מפיר 19 המנהרה הולכת וצרה, והיא מנמיכה במורד הזרימה עד למפגש החוצבים שבו המעבר נמוך מאוד. לאחר מכן, מפלס התקרה עולה בהדרגתיות עד גובה 2 מ' בקירוב. בהמשך יש קטע באורך 2.3 מ', ברוחב 0.5 מ' ובגובה 0.5 מ' המקורה בקמרון חבית הבנוי גזית בחמישה נדבכים. לפי סימני החציבה המנוגדים משני צידי המקטע, בתחילה היה כאן פיר, 19+ (1), שבוטל זמן מה אחרי הקמת המערכת (איור 10:ד). ראוי להדגיש שהאטימה מוקפדת מתוך המערכת בבניית גזית של קמרון חביתי בבסיס הפיר ומילוי מכוון של החלל שמעליו.



איור 4. פיר 6: (א) תכנית ופרופילים; (ב) שני שלבי הבנייה – החלק העליון המאוחר שעוון על קמרון חבית קדום; (ג) קמרון החבית בבסיס הפיר; (ד) הצלילה בפיר (צילום: י' נגב וע' יחזקאל).

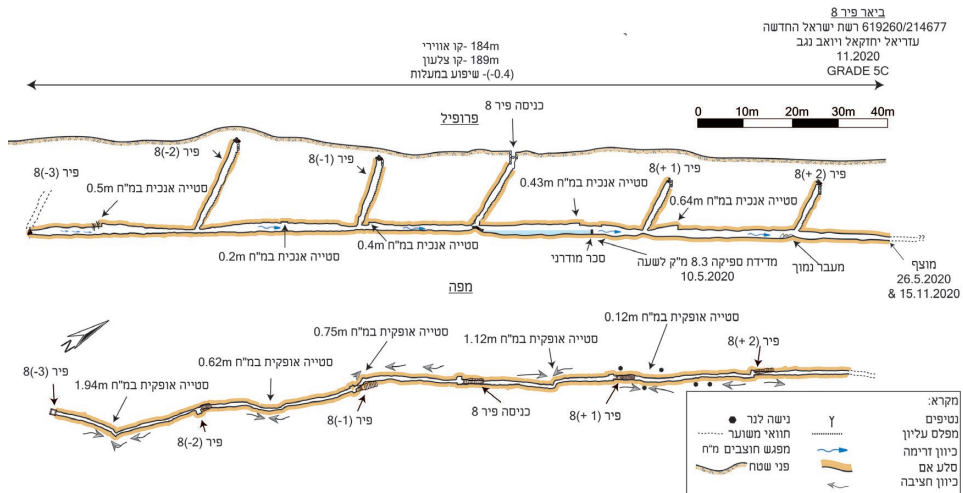
לאחר מקטע זה, שבה המנהרה להיות חצובה לאורך 22 מ' נוספים שבמרכזם מפגש חוצבים בסטייה אנכית גדולה של 1.47 מ' (איור 9). מנקודה זו זורמים המים תחילה באמה שנבנתה במנהרת פירים חצובה ובהמשך, בתוך אמה שנבנתה בתעלה שנחפרה מפני השטח (ראו להלן; איור 10:ה-ו).

על סמך המדידות שערכנו, אורכה של המנהרה החצובה כ־2416 מ'. כל הפירים היורדים אליה נחצבו מפני השטח ישירות מעל התוואי ובשיפוע לכיוון מעלה הנחל (כיוון כללי לדרום) (ראו למשל איורים 5; 7), בשונה ממנהרות דומות שבהן הפירים נחצבו מן הצד, בניצב לכיוון המנהרה, כגון מערכות המים שבנחל תנינים עליון ונחל סנונית (Siegelmann 2002) ואמת המים ההלניסטית לעכו (Frankel 2002). לרוב הפירים קטע עליון אנכי, קצר, הבנוי ממספר נדבכי אבן; חלקם העיקרי, התחתון, חצוב, ובו מדרגות תלולות בדופן שמעל מורד הזרימה (כיוון כללי לצפון). לעתים טויוח המדרגות בטיח אפור,

**טבלה 2. מיקום מפגשי חוצבים בין זוגות פירים חצובים סמוכים
(שימו לב: הסטייה גדלה בהתאמה לקו הצלעון שבין הפירים)**

מפיר	לכיוון פיר	כיוון החציבה	קו צלעון בין שני הפירים (מ')	אורך החציבה (מ')	אחוז (%) החציבה מסך הקטע	סטייה אופקית בין הפירים (מ')
0	1(-1)	מורד	65.75	X	X	2.90
1(-1)	0	מעלה		X	X	
1(-1)	1	מורד	49.95	X	X	3.77
1	1(-1)	מעלה		X	X	
4(-1)	4	מורד	59.21	21.88	36.95	4.41
4	4(-1)	מעלה		37.33	63.05	
8(-3)	8(-2)	מורד	34.41	13.87	40.31	1.94
8(-2)	8(-3)	מעלה		20.54	59.69	
8(-2)	8(-1)	מורד	36.27	14.45	39.84	0.62
8(-1)	8(-2)	מעלה		21.82	60.16	
8(-1)	8	מורד	24.55	3.48	14.18	0.75
8	8(-1)	מעלה		21.07	85.82	
8	8(+1)	מורד	35.77	21.59	60.36	1.12
8(+1)	8	מעלה		14.18	39.64	
8(+1)	8(+2)	מורד	31.78	7.25	22.81	0.12
8(+2)	8(+1)	מעלה		24.53	77.19	
13	14	מורד	57.56	24.43	42.44	2.64
14	13	מעלה		33.13	57.56	
14	15	מורד	34.88	16.25	46.59	0.24
15	14	מעלה		18.63	53.41	
15	16	מורד	40.58	10.16	25.04	1.34
16	15	מעלה		30.42	74.96	
16	17	מורד	33.11	17.76	53.64	0.39
17	16	מעלה		15.35	46.36	

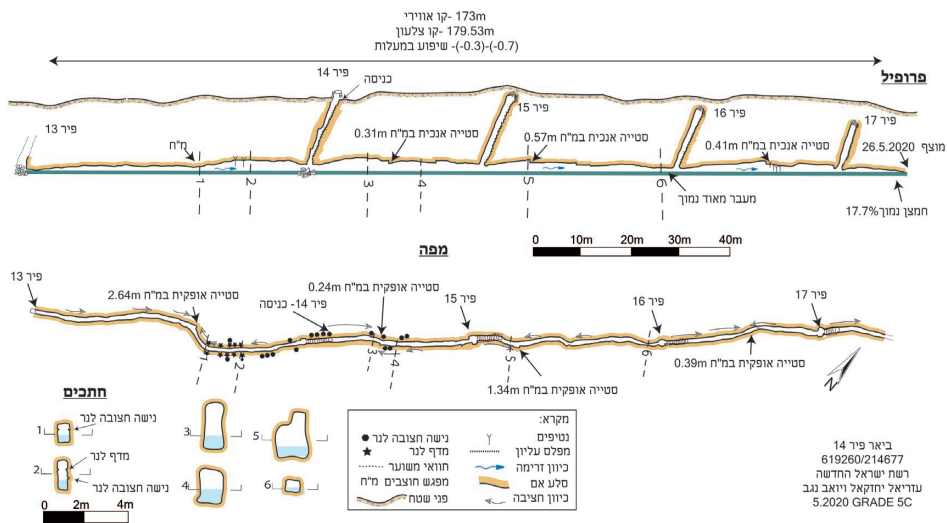
עשיר בחומר אורגני. השיפוע הממוצע של מדרגות הפירים עומד על 65 מעלות (טבלה 1). בבסיס פירים רבים משקעי מערות בשל זרימת מים על דופנות הפיר (זרימת פילם) (ראו למשל איור 6:ד). ממוצע המרחק האווירי בין הפירים החצובים בקטעים שמוכי עומד על 36.5 מ' (טבלה 1), נתון התואם את המלצתו של ויטרוויוס (*de Architectura* VIII, 6:3). הסקר העלה שהמנהרה נחצבה מבסיס כל פיר לשני כיוונים מנוגדים (איור 8:א). לרוב, מפגשי החוצבים אינם במרכז הקטע החצוב כיוון



איור 5. מקטע חצוב במנהרת הפירים, שמופה מפיר 8 (189 מ'): תכנית ופרופיל (שרטוט: ע' יחזקאל).



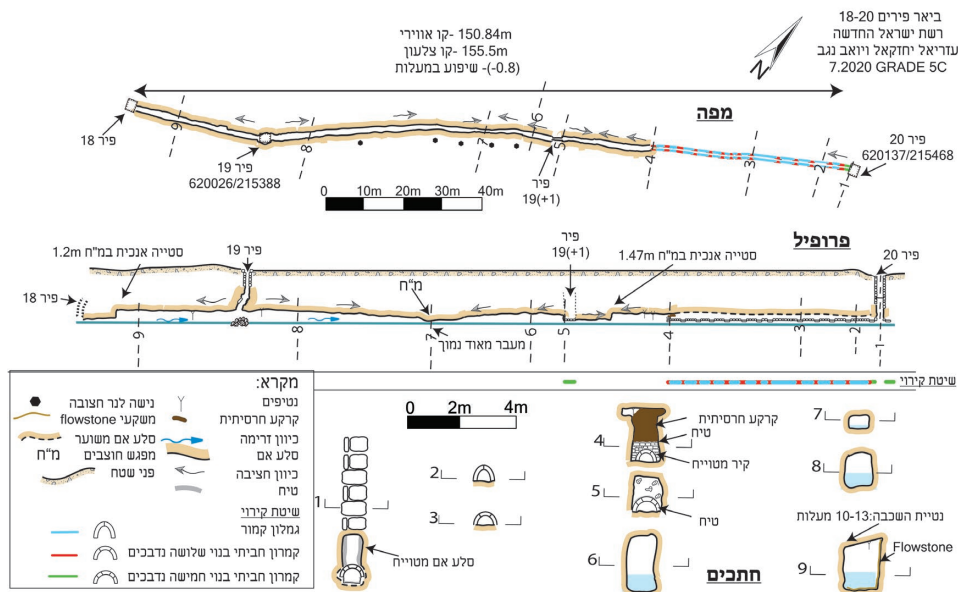
איור 6. מנהרת הפירים החצובה מפיר 8: (א) בסיס פיר 8, מבט מלמעלה — שימו לב למדרגות החצובות; (ב) מבט צפונה לעבר פיר 8(-2) והמשך המנהרה; (ג) נטיפים בקטע שבין פירים 8(-2) ו-8(-3); (ד) בסיס פיר 8(-1) — שימו לב ל"אזוני הפיל" בדופן הפיר; (ה) מפגש החוצבים בין פיר 8 ל-8(+1) — תיקון במישור האופקי ובמישור האנכי (צילום: י' נגב וע' יחזקאל).



איור 7. מקטע חצוב במנהרת הפירים, מפיר 13 עד פיר 17 (179 מ'): תכנית, פרופיל וחתיכים (שרוטוט: ע' יחזקאל).



איור 8. מנהרת הפירים החצובה בין פירים 13-17: (א) מבט לכיוון צפון-מזרח — בסיס פיר 14 מסומן בחץ לבן וסימני החציבה מבסיס הפיר במעלה הזרימה מסומנים בחצים אדומים; (ב) מדפים בולטים להנחת נרות בקטע שנחצב מפיר 14 לכיוון פיר 13 (מסומנים בחצים אדומים); (ג) מבט במורד הזרימה מפיר 13 — שימו לב לתיקון האנכי בתקרת המנהרה, שאינו סמוך למפגש חוצבים; (ד) נביעת מים מדופן המנהרה החצובה, בין פיר 16 לפיר 17 (צילום: י' נגב וע' יחזקאל).



איור 9. מנהרת הפירים בין פיר 18 לפיר 20: תכנית, פרופיל וחתכים. שימו לב לביטול פיר 19(+1) בקמרון חביתי; וכן למעבר ממנהרה חצובה בלבד למנהרה חצובה שבה בנויה (שרטוט: ע' יחזקאל).

שההספק של הקבוצה שהתקדמה במעלה הזרם היה גבוה מזה של הקבוצה שחצבה במורדו (טבלה 2). ייתכן שהמים במורד הזרם הפריעו לחוצבים בכיוון זה.

הסטיות האנכיות במפגשי חוצבים נעות בין 1.47 ל-0.2 מ'; ייתכן שברצפת המנהרה הונח חומר מילוי אטום כדי לתקן את השיפוע השלילי שנוצר בשלן. תיקונים בתקרת המנהרה החצובה הובחנו לאורכה, ולא רק סמוך למפגש החוצבים (למשל איור 8ג). נתון זה מעיד על בקורות מדידה ושיפוע בזמן עבודות החציבה. הסטיות האופקיות מסתכמות ב-0.12–4.41 מ'. בטבלה 2 אפשר לראות שהסטיות האופקיות במפגשי החוצבים גדלה בהתאמה למרחק הגדל בין שני פירים ($P_{val} = 0.0009$; F test). סטייה אופקית נמוכה מתקבלת כאשר המרחק בין הפירים עומד על 30–40 מ'. השיפוע הכללי של מנהרת הפירים החצובה, למעט הקטע בין פיר 0–1 (לעיל), נע בין 0.3–0.8 מעלות. ככלל, הסטיות במפגשי החוצבים במנהרת הפירים של הביאר הן הנמוכות בסטיות שתועדו במנהרות תת-קרקעיות דומות (Frumkin 2014: Table 1). ייתכן שהדבר נובע ממיקום הפירים שנחצבו במדורג בתוואי המנהרה התת-קרקעית שתחתיהם, ולא בניצב לה.

במקטע שנחצב מפיר 14 במעלה הזרימה לכיוון פיר 13 הושארו מדפי סלע קטנים ובולטים להנחת נרות (איור 8ב). ביתר המקומות במנהרה נחצבו הגומחות לנרות בקירות. בקטע שמופה מפיר 14 תועדו חמישה פירים, שנחצבו בידי תשעה צוותי עבודה. כיוון חציבתם מכל פיר היה כדלקמן: מפיר 13 במורד הזרימה (כיום אין גישה לקטע שבמעלה הזרימה); מפיר 14 לשני הכיוונים; מפיר 15 לשני הכיוונים; מפיר 16 לשני הכיוונים; ומפיר 17 לשני הכיוונים. אם המדפים לנרות משקפים מסורת בנייה



איור 10. מנהרת הפירים בין פירים 18 ו-20: (א) פתח פיר 19 במרכז נחל הפירים (מסומן בחץ שחור) ותוואי משוער של המנהרה (חץ כחול), מבט לדרום-מערב; (ב) גלישה בפיר 19; (ג) מבט לצפון-מזרח מפיר 18 לפיר 19 — שימו לב לנטיית השכבות בתת-הקרקע, המזינות את בסיס המנהרה; (ד) מבט לכיוון צפון-מערב לעבר קמרון החבית שביטל את פיר 19 (+1) — הסתימה המכוננת מעל הקמרון מסומנת בחץ אדום; (ה) מבט לכיוון צפון-מערב, תחילתה של אמת הגזית שנבנתה בתוך המנהרה החצובה (ראו איור 16:ב.1) — גובה האמה הבנויה (כ"1 מ') מסומן בחץ צהוב, חתר זרימת המים באמה (Specus) מסומן בחץ כחול, והצטברות קרקע חרסיתית על תקרת האמה מסומנת בחץ אדום (ראו איור 9: חתר 4); (ו) מבט לתוך חתר האמה (specus) — חילופים בין קמרון חבית בנוי בשלושה נדבכים, מקטע שקורה בגמלון קמור, ושוב קמרון חבית (צילום: י' נגב וע' יחזקאל).

של צוות מסוים, וכיוון שלא נמצאו בקטע שמופה מפיר 14 מקטעים אחרים שבהם מדפים מעין אלה, הרי שתשעה צוותי חוצבים לפחות פעלו לפיתוח מנהרת הפירים של הביאר. אם היו פחות צוותים, סביר שהיינו מתעדים מדפים בולטים גם במקטעים אחרים (איור 7).

בניית הגזית במנהרת הפירים

מאזור פיר 19(+) עד מוצאה בפני השטח, נבנתה האמה בחלקה בתוך מנהרה חצובה בסלע האם, ובחלקה נבנתה אמה בתוך תעלה שנחפרה מפני השטח ולאורכה פירים (להלן: "תעלת הפירים"). אורך קטע זה כ־536 מ'. מתארם של רוב הפירים היורדים אליה מרובע (1 × 1 מ' בקרוב). הפירים אנכיים, והם בנויים מאבנים שגודלן הממוצע 0.4 × 0.7 מ', שטוחו היטב בטיח אפור עשיר בפחם. אלו שעונים בבסיסם על קמרונות מסוגים שונים: קמרון חביתי מחמישה נדבכים בפירים 19(+) 20, 21, 24(+) 25; גמלון קמור בפיר 22; וגמלון מורכב בפיר 22(+) (ראו להלן). קטע זה נחלק לארבעה מקטעי משנה.

מקטע ראשון: מנהרת פירים חצובה ומפותלת, שבבסיסה אמה בנויה גזית, מקורה בגמלון קמור/

חביתי לסירוגין. מתחילתה, מאזור פיר 19(+) עד פיר 22, נחצבה מנהרה תת־קרקעית רחבה וגבוהה, שאורכה כ־235 מ' ועומקה 6–8 מ' מפני השטח. בבסיס המנהרה נבנתה אמה מאבני גזית מותאמות היטב. סלע האם החשוף מעל תקרת האמה הבנויה בתחילתה, ובבסיס פירים 20 ו־21, מעיד על שיטת בנייה ייחודית זו (איור 11: פרופיל). הסיבה לבנייה זו קשורה בעובדה שמנהרת הפירים מתקרבת בהדרגתיות לפני השטח וחוצה עמק רחב ידיים (איורים 1; 16:א). שני הנתונים הללו משפיעים על צפיפות סלע האם שבו היא חצובה ועל יציבותו. הצטברות של למעלה ממטר אחד של קרקע חרסיתית מעל תקרת האמה איששה אבחנה זו (איורים 9: חתך 4; 10:ה).

גובה זרימת המים באמה הבנויה (להלן: specus) עולה בהדרגתיות מ־0.4 מ' גובה בתחילתה (איורים 10:א; 12:ב) לגובה 1.3 מ' לערך באזור פיר 22 (איור 12:ג). ה־specus קורה לחלוטין בגמלון קמור ובקמרונות חביתיים. המקטעים הארוכים יותר קורו בגמלון קמור — שני לוחות אבן קמורים, מסותתים, השעונים זה כנגד זה. רוחבם של הלוחות 0.3 מ', עובייהם 0.4 מ' וגובהם מראש הגמלון עד הדפנות/סלע האם 0.5 מ'. אחת לכמה מטרים מצויים קמרונות חבית הבנויים בשלושה נדבכים; רוחבם 0.3–0.4 מ', עובייהם 0.70–0.85 מ' וגובהם 0.3–0.6 מ' (איורים 10:א; 12:ב; 16:ב; 2). סך הכול תועדו 59 קמרונות חבית מעין אלו: 13, בין פיר 19(+) ופיר 20; 33, בין פיר 20 לפיר 21; ו־13, בין פיר 21 לפיר 22.

קמרון החבית יציב יותר, אך קשה לבנותו ברצף, ולכן הוא נבנה בקטעים קצרים, בעיקר בנקודות שבהן יש פיתולים בתוואי המנהרה החצובה. בין קמרונות החבית הונחו לוחות הגמלון הקמור, הקלים יחסית להנחה בתנאים אלה, אך פחות יציבים. בתום הנחת כלל הקמרונות והגמלונים, נבנה מעליהם שרולל בנוי מאבנים וטיח בגובה כמטר אחד, ככל הנראה כאמצעי הגנה (איורים 10:ה; 16:ב; 1).

בין פיר 20 לפיר 22 נמצאו שלושה מקטעים של קמרון חבית, הבנויים מחמישה נדבכים באורך כ־2 מ'; רוחבם וגובהם גדול מיתר ה־specus שתואר לעיל (איור 12:ד–ו). אנו סבורים שמקטעי קמרונות אלו מציינים את מיקומם של פירים שבוטלו. גם כאן, בדומה לפיר 19(+) (איור 10:ד; ראו לעיל), הדבר נעשה בקפידה, בבניית קמרון גזית מתוך המערכת התת־קרקעית. אי־התאמות ושברי אבנים שנמצאו בתפר שבין קטעי קמרון חמשת הנדבכים ליתר ה־specus מהווה עדות סטרטיגרפית לכך שהם נבנו בשתי תקופות שונות ושנעשה שיקום מקיף במערכת המים זמן־מה לאחר הקמתה.



אישוש להערכתנו שאלו פירים שבוטלו אפשר למצוא בדברי ויטרוביוס שהמליץ על מרחק של כ־120 רגל בין פיר לפיר גם במנהרות בנויות (*de Architectura* VIII, 6:3). ללא הפירים המבוטלים, המרווח בין פירים 20 ו־21 ובין פירים 21 ו־22, גדול בהרבה מהמלצת ויטרוביוס (108 ו־75 מ' בהתאמה; ראו טבלה 1; איור 11). בנוסף, הסטייה האופקית באזור מפגשי החוצבים בין שני הפירים הסמוכים (20, 21, 22, ואלו שבוטלו ביניהם), מסבירה את הפיתולים בתוואי המנהרה במקטע זה. נראה שהמקטעים שנחצבו במעלה הזרימה ארוכים מאלו שנחצבו במורדה, בדומה למנהרת הפירים החצובה בחלקיה השונים (השוו בין איור 11 לאיורים 5, 7).

במקטעים 2–4, מפיר 22 עד המוצא לפני השטח, נחפרה מפני השטח תעלה שקורתה לאחר מכן. על כך מעידים עומקה הרדוד (פחות מ־4 מ'), התוואי הישר והעובדה שהפירים היורדים אליה בנויים למלוא גובהם, ללא מחשופי סלע בבסיסם. שעה שהרצפה והדפנות של מקטעים אלו טויחו, תקרתם נבנתה בבנייה יבשה כדי לאפשר חלחול של מים מפני השטח.

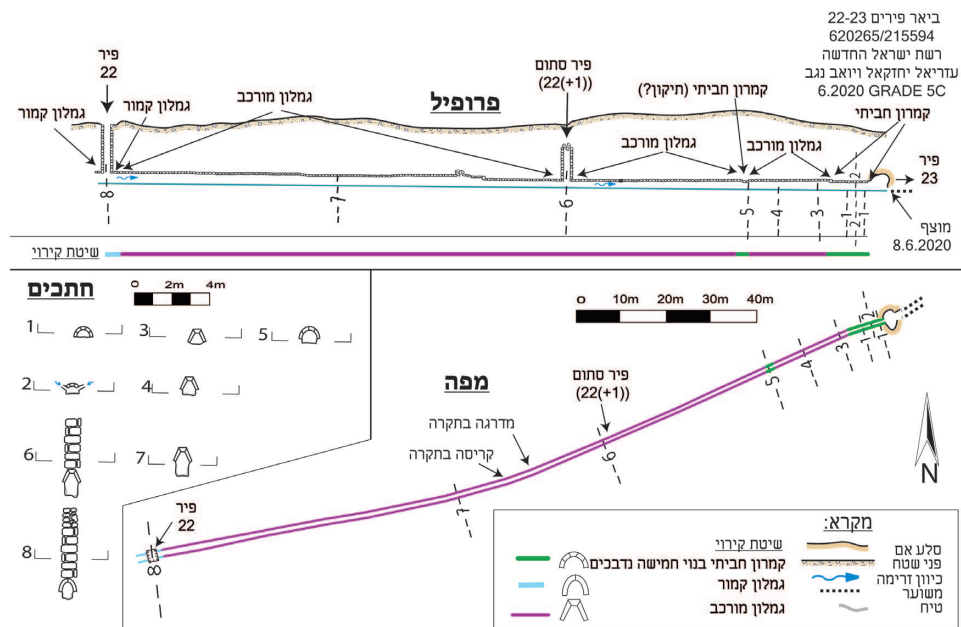
מקטע שני: תעלת פירים בנויה גזית ומקורה בגמלון מורכב. אורכו של המקטע השני, שנחפר כאמור מפני השטח, מפיר 22 עד פיר 23, הוא כ־105 מ', והוא מקורה ברובו בגמלון מורכב: שני לוחות אבן נטויים, ומעליהם אבן שלישית המשמשת אבן ראשה. גמלון זה מעוטר לכל אורכו בסיתות שוליים עדין שרוחבו כ־5 ס"מ, וזיז הבולט 2 ס"מ מפני האבן (איורים 13; 4א–ג; 16ב, 3). במרחק של כ־50 מ' מפיר 22 מצוי פיר נוסף, סתום (פיר 22+1), וכ־40 מ' אחריו יש מקטע באורך 0.8 מ' המקורה בקמרון חביתי. שכבות עבות של טיח מעידות כנראה שהקמרון מאוחר ונבנה כתיקון מקומי. מכאן התעלה שוב מקורה בגמלון מורכב, למעט המקטע האחרון שאורכו כ־8 מ' שקורה בקמרון חביתי הבנוי מחמישה נדבכים. בשתי נקודות לאורך מקטע זה משולבים מרזבים בדפנות הקמרון; תפקידם אולי להחזיר מים לתעלה התת־קרקעית (איורים 13: חתך 2; 14ד; 16ב, 4). לאחר מכן נסתמה התעלה בסלע גדול, מטרים ספורים לפני פיר 23.

מקטע שלישי: תעלת פירים בנויה גזית ומקורה חליפות בקמרונות חבית ובגמלון פשוט בניצב לתוואי המנהרה. פיר 23 הוא מבנה תת־קרקעי מרובע שקורה בקמרון חביתי עשוי מאבני גזית בסיתות שוליים. אורכו כ־9 מ' ורוחבו 2.2 מ'. הכניסה למבנה היא דרך מדרגות מקורות בלוחות אבן גדולים היורדות מפני השטח. סמוך לקצה הצפוני־המזרחי של המבנה יש פיר ברצפה (1.5 מ' עומק) היורד אל *specus* תעלת הפירים (איורים 14ה; 15: חתכים 14–16). יש חוקרים הסבורים שמבנה זה שימש חדר ביקורת/תפעול, אך עניין זה תמוה, שכן ניתן היה להשתמש בפירים הסמוכים לצורך כך (צוק, מירון וולבלסקי 1986; 2002: Mazar). עניין תמוה נוסף הוא שבמרחק כ־65 מ' במורד הזרימה מפיר 23, קירי ה־*specus* מתחלף בכל מטר מקמרון חביתי הבנוי בשלושה נדבכים (גובה 0.3 מ') לגמלון פשוט שגובהו 1.2 מ' בניצב לתוואי האמה (איורים 14ה–ז; 15: חתכים 12, 13; 16ב, 5). הגמלון הפשוט נבנה משני זוגות של לוחות אבן מעוצבים בסיתות שוליים, שנבנו במרווח של כ־0.1 מ' זה מזה. בינות למרווח זה זוהתה תקרה נוספת, עשויה מלוחות אבן, שנבנתה מעל תוואי התעלה (איורים 15: חתך 13; 16ב, 5).

אנו מציעים שמבנה פיר 23 ושיטת הקירוי הייחודית קשורים במיתון זרימת המים בזמן החורף בקטע זה, טרם יציאתם לפני השטח, וצמצום הלחץ ההידראולי על *specus* התעלה. בזמנים של ספיקה



איור 12. האמה שנבנתה בתוך מנהרה חצובה, בין פיר 20 לפיר 22: (א-ג) מעברים תכופים בין גמלון קמור לקמרון חבית — שימו לב לחיבור המדוקדק בין שתי שיטות קירוי אלו המעיד שהם נבנו כיחידה אחת; (ד-ו) קמרונות חבית בנויים מחמישה נדבכים (חיצים אדומים), גבוהים ורחבים מ־specus יתר האמה — שימו לב לחוסר ההתאמה בין קמרונות אלו לקמרונות שלושת הנדבכים (חיצים לבנים), עדות לכך שהפירים בוטלו זמן־מה לאחר הקמת המערכת (צילום: י' נגב וע' יחזקאל).



איור 1.3. תעלת הפירים בין פיר 22 לפיר 23: תכנית, פרופיל וחתכים; אמה בתוואי ישר שנבנתה בתוך תעלה שנחפרה מפני השטח וקורתה בעיקר בגמלון מורכב, בסיתות שוליים (שרטוט: ע' יחזקאל).

גבוהה, המים יכלו לעלות ולהציף את חלל המבנה של פיר 23, ואז לחלחל חזרה אל תעלת הפירים במהירות נמוכה יותר. כיוון שהמבנה מקורה, הדבר התרחש ללא איסוף פסולת ולכלוך מפני השטח. גם השינויים התכופים בגובה התקרה של תעלת הפירים במקטע שלאחר פיר 23 אפשרו חלחול של מים מפני השטח ושחרור של לחץ הידראולי בשל מגע המים עם אוויר. בשל הרגישות של מקטע זה, נבנתה מעליו תקרה נוספת כאמצעי לחיזוק ולהגנה.

מקטע רביעי: תעלת פירים בנויה גזית ומקורה בגמלון מורכב. מאזור פיר 24(+1) ולאורך כ-70 מ' עד פיר 25 (כ-2.3 מ' עומק), וככל הנראה עד מוצא תעלת הפירים אל פני השטח, הקירוי נעשה שוב באמצעות גמלון מורכב, המעוטר בסיתות שוליים (איורים 15; 16). במקטע קצר שמופה מפיר 25 במעלה הזרימה נמצאו הצרות מכוונות בקרקעית האמה. אלה נעשו באבני גזית ונועדו כנראה להאט את זרימת המים טרם יציאתם לפני השטח (איור 14 ח). סופה של תעלת הפירים בדופן הצפונית של נחל הביאר, סמוך לסכר הקדום (איור 14 ט), ומכאן ואילך היא עילית עד למנהרת דהר בקו (איור 14 י).

מידות ספיקה

בשבוע של ה-10.5.2020 נמדדה ספיקה בשלוש נקודות לאורך מנהרת הפירים: (1) בין פיר 8 לפיר 8(+1) — 8.1 מ"ק לשעה (70,956 מ"ק לשנה); (2) בין פיר 19(+1) לפיר 20 — 19.76 מ"ק לשעה

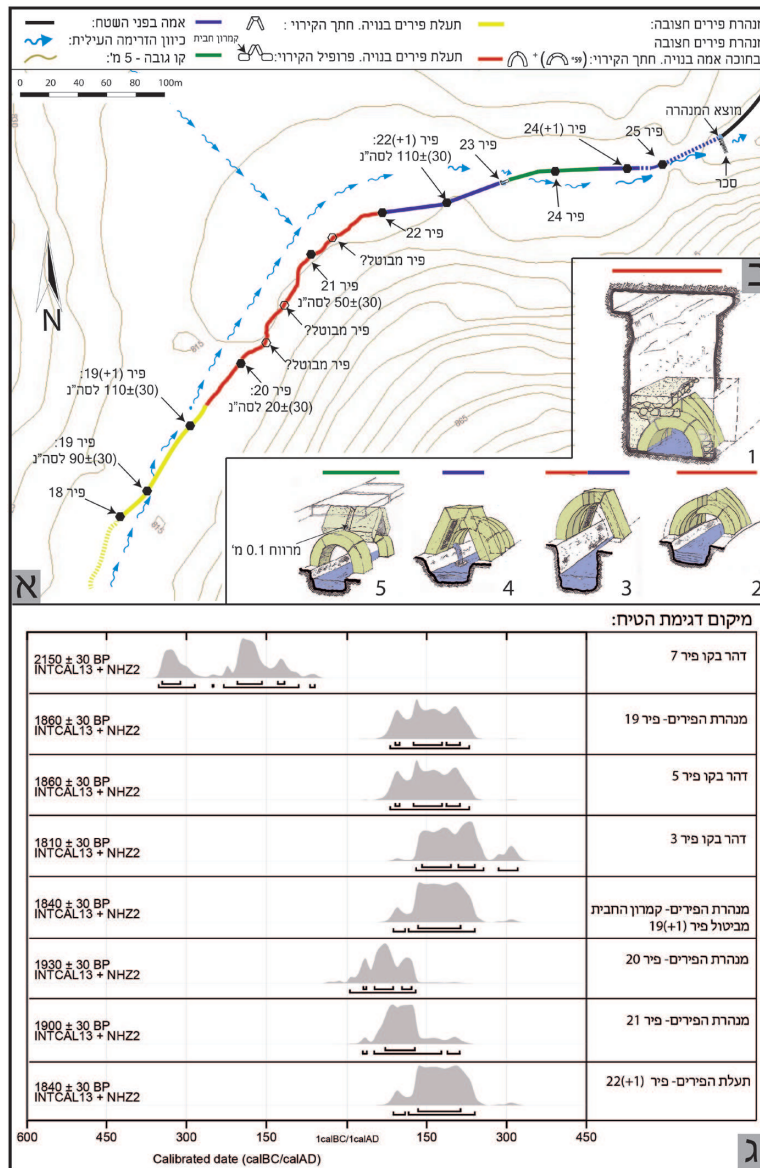


איור 14. תעלת הפירים מפיר 22 עד לציאה בפני השטח: (א-ג) הקירי בין פיר 22 לפיר 23 נעשה בעיקר בגמלון מורכב, בסיתות שוליים; (ד) מרזבים המזינים את המנהרה סמוך לפיר 23 (ראו איור 13: חתר 2); (ה) פיר 23, מבט אל החדר המקורה בקמרון חביתי; (ו-ז) קירי האמה בקטע שבמורד הזרימה מפיר 23 — חילופים תכופים בין קמרון חבית בנוי שלושה נדבכים (1) וגמלון פשוט הניצב לחתר האמה (2) — שימו לב למרווח בין לוחות הקירי של הגמלון, שמבעדו זוהתה תקרה נוספת מעל תוואי התעלה (ראו גם איור 16:ב5); (ח) הצרה מכוונת בחתך האמה, בקטע שבמעלה הזרימה מפיר 25 (איור 15: חתר 4); (ט) הסכר הסמוך למוצא המנהרה בפני השטח; (י) אמת הביאר בפני השטח, לפני הכניסה למנהרת דהר בקו (צילום: י' נגב וע' יחזקאל).



דיון

תיארוכה של אמת הביאר כרוך בשאלה לאיזו מאמות המים לירושלים היא הייתה קשורה. יתרונה המובהק של אמת הביאר הוא באפשרות לספק מים לרחבי העיר העליונה של ירושלים באמצעות האמה העליונה, שכן האחרונה הגיעה לעיר באזור שער יפו (765 מ' גובה מעפה¹⁰ לערך). האמה



איור 16. (א) שינויים בשיטות הקירוי לאור הטופוגרפיה ותוצאות דגימות הפחמן 14 (שרוטט: ע' יחזקאל); (ב) שחזור איזומטרי של שיטות הקירוי במנהרת הפירים ובתעלת הפירים — קו הצבע מעל כל שחזור תואם את הצבעים שבאיור 1א: (שרוטט: מ' אדלנר); (ג) תאריכי פחמן 14 מדגימות הטיח שנלקחו ממנהרת הפירים ומתעלת הפירים, וכן מפירי מנהרת דהר בקו (ראו טבלה 3).

התחתונה, לעומת זאת, נכנסה לעיר לאחר שהקיפה את הר ציון מדרום (739 מ' גובה מעפה"י לערך) וסיפקה מים רק לשיפולים המערביים של העיר העליונה, שעה שיעדה העיקרי היה כנראה הר הבית (735 מ' גובה מעפה"י). גובה אמת הביאר במוצא מנהרת הפירים הוא 808 מ' מעפה"י. בנוי המערכת השקיעו מאמץ כביר כדי לשמור על גובה זה בבניית האמה בפני השטח בשילוב עם מנהרה החוצה את רכס דהר בקו שאורכה למעלה מ-500 מ' ועומקה המרבי כ-33 מ' מתחת לפני השטח. הגורם הסביר ביותר לעבודה אדירה זו הוא הצורך להזין את האמה העליונה המתחילה מאזור בריכת שלמה העליונה בגובה 790–800 מ' מעפה"י לערך. אילו נועדה אמת הביאר להזין את האמה התחתונה, לא היה צורך בעבודה אדירה זו ואפשר היה לבנות את המשך האמה ממוצא מנהרת הפירים, דרך ואדי אל-בנאת ולהתחבר ישירות לאמה התחתונה (איור 1:א). לאור נתונים אלה, אנו מציעים שיעדה של אמת הביאר היה לספק מים לאמה העליונה לירושלים (להרחבה בנושא היעד של אמת הביאר, ראו Mazar 2002). מקובל במחקר שהאמה העליונה נבנתה בשני שלבים, הניכרים באופן שבו היא חצתה את הבקעה שמערב לבית לחם: בשלב הקדום, כנראה מן התקופה ההרודיאנית, נישאה האמה כנראה על אומנות, אך אין לכך נתונים ארכיאולוגיים מובהקים (עמית 2002; 2009);⁴ בשלב המאוחר, המתוארך היטב לימי איליה קפיטולינה, נעשה שימוש בסיפון בנוי מחוליות אבן, כעדות כתובות קציני הלגיון החקוקות על החוליות (להרחבה, ראו Mazar 2002; Amit and Gibson 2014; Ameling et al. 2018). מדידות הספיקה שהוצגו לעיל הראו שמנהרת הפירים של אמת הביאר שימשה בעיקר מערכת מתוחכמת לניקוז אקוויפר בתת־הקרקע (cuniculus). נפח המים לקראת סוף המנהרה (כ-200,000 מ"ק לשנה) מהווה כ-40% מנפח המילוי החוזר המוערך של האגן שגודלו כ-6 קמ"ר (523 אלף מ"ק לשנה; ראו לעיל). כמות מים זו גדולה כמעט פי שבעה מהממוצע הרב שנתי של עין הביאר. מערכות cuniculus פותחו כנראה לראשונה בדרום אטרוסקיה, שם שימשו בין היתר להובלת מי שתייה ולניקוז עודפי מים משטחים שהוכשרו לחקלאות. מערכות אלו היו בשימוש ברחבי איטליה מהמאה ה-1 לפסה"נ עד ימי הביניים המאוחרים, אך נפוצו בעיקר במאות הראשונות לפני הספירה עד ראשית ימי הקיסרות (Judson and Kahane 1963:87). נתון זה מרמז כנראה על כך שהטכנולוגיה הגיעה לארץ בתקופה שהיו בה השפעות רומיות ניכרות על האדריכלות המקומית בסביבות ירושלים, היינו בעיקר בימי הורדוס, כפי שהציעו הירשפלד (14:1989) ומזר (Mazar 2002), אך גם בתקופת הנציבים וימי איליה קפיטולינה (להרחבה בנושא תיארוך אמת הביאר, ראו טבלה 4).

המקבילות היחידות שמצאנו לשיטות הקירוי המורכבות שתועדו במנהרת הפירים ובתעלת הפירים הבנויה גזית הן משיפוץ אמת האקווא אפיה לרומא בשלהי המאה הא' לפסה"נ ומאמת המים לאמליה שבאומבריה, כנראה מהמאה הא' לסה"נ (Nini 1994; Lombardi & Santucci 2020). המקבילות מרמזות גם הן אפוא על תיארוך בתקופה הרומית הקדומה.

שמונה דגימות טיח המכילות פיטות פחם תוארכו במעבדת Beta Analytic בפלורידה (איור 16; טבלה 3).⁵ כולן נלקחו מפירים היורדים לחלקיה התת־קרקעיים של אמת הביאר: פירים 19, קמרון

⁴ גם בפרסומים האחרונים המתייחסים לחפירות באזור בריכת ממילא לא נמצאו עדויות מובהקות המסייעות בתיארוך האמה העליונה. כך למשל ייחוס השלב הקדום באמה העליונה להורדוס מסתמך על סוג הטיח (עמית 2009:99).

⁵ דגימות הטיח נלקחו תחת רישיון סקר קמ"ט ארכיאולוגיה מספר 03-02-2021.

החבית שביטל את פיר (+1), 19, 20, 21 ו-22 (+1) — במנהרת הפירים, ופירים 3, 5 ו-7 — במנהרת דהר בקו. בשונה מתעלה שזורמים בה מים ושיש צורך בטייחה מחדש מעת לעת, סביר שהפירים טויחו בעת חציבתם בלבד. כמו כן, לא זיהינו בהם מספר שכבות טיח.

תוצאה חריגה אחת, שתוארכה למאות הד'–הא' לפסה"נ, התקבלה מן הטיח שבפיר 7 במנהרת דהר בקו. נראה שהיא מייצגת פיסת עץ עתיקה ששימשה בייצור הטיח ולא את זמן הקמת מערכת המים. שתי דגימות שנלקחו מפירים 20 ו-21, בקטע שבו נבנתה אמה בתוך מנהרה חצובה, תוארכו לתחילת – אמצע המאה הא' לסה"נ (20 ו-50 לסה"נ בהתאמה). חמש דגימות, שלוש מפירים 19, 9 ו-10 (+1), 22 (+1), ושתיים מפירים 3, 5 במנהרת דהר בקו, תוארכו בהסתברות גבוהה למאה הב' לסה"נ.

תיארוך שלביה של אמת הביאר בתוך התקופה הרומית

יוסף בן־מתתיהו אינו מזכיר הקמה של מפעל מים לירושלים בתקופה החשמונאית, ואף לא בתקופת הורדוס, על אף שעמדו בפניו מקורות ראשוניים לאותם ימים. עם זאת, מרבית החוקרים סברו, שלא יעלה על הדעת שלא נבנתה אמת מים לעיר הבירה בתקופה שנבנו בה אמות למבצרים מרוחקים במדבר. גם הדמיון בין האמה התחתונה לאמות אלו תומך בהשערה שלפיה היא נבנתה בתקופתו של הורדוס לפחות, ואולי עוד בימי החשמונאים (להרחבה, ראו Mazar 2002). יוסף בן־מתתיהו ציין שהנציב פונטיוס פילטוס התקין אמת מים לירושלים תוך שימוש בכספי הקדש, דבר שגרר תרעומת קשה מצד היהודים. קיימת סתירה בין המקורות בנוגע למרחק שממנו הובלו המים: 200 (מלחמת היהודים ברומאים, ב, 75) או 400 (קדמוניות יח, 60) ריס. מזר וחוקרים אחרים ציינו שאורכה של אמת הערוב, שנבנתה כתוספת לאמה התחתונה, תואם את המרחק הנזכר במלחמת היהודים ברומאים, קרי 200 ריס (Mazar 2002; טבלה 4). הצעה זו מעלה לכאורה תהייה: מדוע שהגדלת אספקת המים להר הבית באמצעות האמה התחתונה תעורר את זעם היהודים? על כל פנים, הסתירה בין המקורות מקשה לקבל כל אחד מן המרחקים.

שני התאריכים הקדומים שהתקבלו ממנהרת הפירים מצביעים על האפשרות שאמת הביאר היא זו שהוקמה בידי פילטוס. אם אפשרות זו נכונה, ואם אמת הביאר אכן נועדה להזין את האמה העליונה, כפי שעולה בפשטות מגובהה, הדבר עשוי להסביר את זעמם של היהודים, שכן כספי ההקדש שימשו לאספקת מים לעיר העליונה ואולי אף לארמונו של פילטוס.⁶ ראוי לציין שתקופת הנציבים, ובפרט ימיו של פילטוס, הולכים ומתבררים כתקופה של פעילות בנייה נרחבת בירושלים: עדויות נומיסמטיות מלמדות, שבתקופה זו נסלל הרחוב המדורג העולה ממעיין השילוח לכיוון הר הבית (Szanton et al. 2019) והמשכו לאורך הכותל המערבי (רייך וברוך תשע"ז: 7); ותאריכי פחמן־14 שהניבו דגימות הטיח מקשת וילסון העל, שבתקופה זו הוכפל רוחבו של הגשר הגדול שהוביל אל הר הבית ממערב (Regev et al. 2019) ושעליו נישאה כנראה האמה התחתונה (Mazar 2002). ראוי לציין שתעלה מרשימה, שזוהתה כסעיף של האמה העליונה, תועדה לאחרונה לאורך עשרות מטרים מתחת לכנסיית המשיח

⁶ גיבסון הסביר את מקור הכעס של תושבי העיר בכך שבזמן הקמת אמת הערוב דאג פילטוס גם לארמונו האישי שנמצא בעיר העליונה ושיקם את האמה העליונה (Amit and Gibson 2014: n. 110). לדעות נוספות בנוגע לזיהוייה של אמת פילטוס, ראו טבלה 4.

טבלה 3. תוצאות בדיקות כחמן¹⁴ מפיסות שונות של טיח המכיל כחם, שנדגמו ממנהרת הפירים ומתעלת הפירים, וכן מן הפירים היורדים למנהרת דהר בקו

הדגימה	מיקום דגימת הטיח	תאריך מכויל	סטיית תקן	
			גיל מכויל בהסתברות 68.2%	גיל מכויל בהסתברות 95.4%
B19	פיר 19	90 ± 30 לסה"נ	180–123 לסה"נ 41.4% 214–185 לסה"נ 20.0% 100–90 לסה"נ 6.9%	230–80 לסה"נ
B19(+1)	קמרון החבית שאטם את פיר 19(+1)	110 ± 30 לסה"נ	216–133 לסה"נ	242–86 לסה"נ
B20	פיר 20	20 ± 30 לסה"נ	89–50 לסה"נ 43.5% 122–100 לסה"נ 17.8% 38–29 לסה"נ 6.9%	130–4 לסה"נ
B21	פיר 21	50 ± 30 לסה"נ	130–69 לסה"נ	180–50 לסה"נ 88.4% 214–186 לסה"נ 5.1% 39–28 לסה"נ 1.9%
B22(+1)	פיר 22(+1)	110 ± 30 לסה"נ	216–133 לסה"נ	242–86 לסה"נ
DB3	פיר 3 ממנהרת דהר בקו; הטיח נדגם בזמן גלישה בפיר, בעומק כ־15 מ' מפני השטח	140 ± 30 לסה"נ	196–140 לסה"נ 40.3% 242–208 לסה"נ 27.9%	258–128 לסה"נ 86.5% 322–284 לסה"נ 8.9%
DB5	פיר 5 ממנהרת דהר בקו; הטיח נדגם בזמן גלישה בפיר, בעומק כ־15 מ' מפני השטח	90 ± 30 לסה"נ	180–123 לסה"נ 41.4% 214–185 לסה"נ 20.0% 100–90 לסה"נ 6.9%	230–80 לסה"נ
DB7	פיר 7 ממנהרת דהר בקו; הטיח נדגם בזמן גלישה בפיר, בעומק כ־20 מ' מפני השטח	200 ± 30 לפסה"נ	158–209 לפסה"נ 38.9% 311–350 לפסה"נ 22.2% 117–134 לפסה"נ 7.1%	90–235 לפסה"נ 64.4% 286–356 לפסה"נ 30.0% 61–72 לפסה"נ 1.0%

הסמוכה לקישלה, והיא יורדת בתלילות לכיוון מזרח (Gibson and Lewis 2019). לדעת הסוקרים, היעד של סעיף זה היה גם הוא הגשר שנישא על קשת וילסון במטרה להגביר את אספקת המים להר הבית. אמת הביאר היא רק אחד ממקורות המים שהזינו את האמה העליונה, ואין הכרח ששתייה נבנו יחד. אם נשער שהן כן הוקמו יחד, ייתכן שיש לתארך את המפעל כולו לימיו של אגריפס הא' (40–44 לסה"נ), שכן בחפירת היסודות של קטע האמה העליונה בדרך חברון התגלה מטבע של שליט זה המספק *terminus post quem* לבנייתה (ביליג ודולינקה 2013). עם זאת, כפי שציינו עמית וגיבסון

טבלה 4. דעות נבחרות במחקר בנוגע לתיארוכן של אמות המים לירושלים

החוקר/ים	אמת הערוב	האמה התחתונה לירושלים	אמת הביאר	האמה העליונה לירושלים
Schick 1878	הורדוס; שיקום בימי פילטוס	בית ראשון - שלמה המלך		
Masterman 1902	פילטוס(?)	ספטימוס סוורוס - 195 לסה"נ		
Wilson 1905		הורדוס		
Smith 1907	הורדוס; שיקום בימי פילטוס	הורדוס או המאה הב' לפסה"נ		
הקר תשט"ז	פילטוס	הורדוס	המאה הב' לסה"נ - הלגיון העשירי	
פטרין 1980		חשמונאי (יוחנן הורקנוס - אלכסנדר ינאי)		
הירשפלד 1989		הורדוס		
צוק, מירון וולובלסקי 1986 צוק 2011	פילטוס	חשמונאי (סוף המאה הב' לפסה"נ)	חשמונאי (סוף המאה הב' לפסה"נ)	הורדוס/הלגיון העשירי (המאה הא' לפסה"נ - המאה הא' לסה"נ)
Mazar 2002	פילטוס	חשמונאי	הורדוס	המאה הב' לסה"נ - הלגיון העשירי
סולומון 2007		יונתן החשמונאי (152 לפסה"נ)		
עמית 2009 (Amit and Gibson 2014)		חשמונאי		הורדוס; שיקום על ידי הלגיון העשירי בימי אליה קפיטולינה
Billig 2002 ביליג ודולינקה 2013		אלכסנדר ינאי		אגריפס הא'
הצעתנו	ביזנטי	חשמונאי	הנציבים (פילטוס); שיקום על ידי הלגיון העשירי בימי אליה קפיטולינה	הורדוס; שיקום על ידי הלגיון העשירי בימי אליה קפיטולינה

(Amit and Gibson 2014:17-20), מטבע זה עשוי להעיד רק על המועד הקדום ביותר האפשרי לבנייתו של תוואי זה, שכן חפירות שונות הצביעו על תיקונים רבים שנעשו באמה, כולל בנייה מחודשת של קטעים שלמים בתוואי מקביל.

ישנה גם אפשרות שלישית, פחות סבירה בעינינו, ולפיה מערכת הביאר כולה הוקמה במאה הב' לסה"נ, שכן שני תאריכי הדגימות מן המאה הא' לסה"נ מצויים בסטיית תקן אחת ממרבית הדגימות שתוארכו למאה הב' לסה"נ (איור 16ג; טבלה 3).

חמשת התאריכים מן המאה הב' לסה"נ מעידים כנראה על שיקום מקיף שנעשה באמת הביאר בימי איליה קפיטולינה. עדות ארכיטקטונית-סטריגרפית לשיקום זה התגלה במחקר הנוכחי באטימה המכוונת של פיר 19 (+1), שתוארכה למאה הב' על סמך דגימת פחמן-14 (110 לסה"נ). ראוי להדגיש

שאינ מדובר רק בסתימת הפתח העליון של הפיר, אלא באטימה מוקפדת מתוך המערכת בבניית גזית של קמרון חבית בבסיס הפיר. סביר שבשלושת הפירים האחרים, שנאטמו באופן דומה, העבודה נעשתה באותה תקופה (בין פירים 20 ו-22; איורים 9; 10: D; 11; 12: D-I). כתובות הלגיון העשירי שנמצאו על סיפון חוליות האבן באזור בית לחם מעידים כנראה על שיפוץ נרחב גם באמה העליונה במאה ה' לסה"נ (להרחבה, ראו עמית 2002; Amit and Gibson 2014).

סיכום

מאמר זה הוא פרי סקר תת־קרקעי שבמסגרתו מופו למעלה מ־1200 מ' ממנהרת הפירים של אמת הביאר, ובכך זוהי המערכת התת־קרקעית המתועדת ביותר בישראל. מתכנני מנהרת הפירים ובניה שלטו במגוון תחומי ידע – הידרולוגיה, גיאולוגיה, מדידה והנדסה – המתבטאים בשלל אופנים: איתור עין הביאר וגובהו היחסי מעל העיר העליונה של ירושלים; זיהוי הנטייה הגיאולוגית באגן נחל הפירים וניקוז האקוויפר התת־קרקעי באמצעות מנהרה; שימוש בפירי נפילה (dropshafts) לווטות הזרימה במקטעים שבהם המנהרה החצובה הייתה בעלת שיפוע גבוה; חציבת פירים עמוקים מדורגים מפני השטח ישירות מעל המנהרה שתחתיהם, דבר שהוביל לסטיות נמוכות במפגשי החוצבים; ובעיקר, שיטות הבנייה בגזית בחלקה הבנוי של מנהרת הפירים, שאורכה כ־536 מ', המתועדת לראשונה במאמר זה.

בניית הגזית נחלקת לארבעה מקטעים שבכל אחד מהם שימשה שיטת קירוי שאין שנייה לה בארץ. שיטות קירוי אלו קשורות בסוג העומס, הפיזי/ההידרולוגי, שבו האמה התת־קרקעית הייתה צריכה לעמוד, ואין הם מעידים על שלבים כרונולוגיים. במקטע הראשון, בשל חשש מקריסה של סלע אם פריך, נחצבה מנהרה מפותלת, אך בקרקעיתה נבנתה אמה שגובהה כ־1 מ', עם specus שקורה בקמרון חבית וגמלון קמור. בהמשך, עם התקרבותה לפני השטח, נבנו שלושה מקטעים כאמה תת־קרקעית, ובה פירים בתוך תעלה חצובה/חפורה. התקרה של מקטעים אלו הייתה צריכה להיות מסיבית דיה כדי לעמוד בלחץ הקרקע מחד גיסא, ולאפשר חלחול של מים מאידך גיסא. ה־specus במקטעים השני והרביעי קורה בגמלון מורכב, הבנוי גזית בסיתות שוליים. במקטע השלישי, המצוי במורד הזרימה מחדר הביקורת של פיר 23, ה־specus קורה לחלופין בקמרון חבית ובגמלון הניצב לכיוון הזרימה. שיטת קירוי זו קשורה לדעתנו בוויסות זרימת המים בתעלת הפירים, לפני היציאה לפני השטח.

לאור העדויות החדשות מעבודת השדה, בשילוב התיארוך שהניבו שמונה דגימות של טיח מעורב בפחם, נראה שאמת הביאר נבנתה במאה הא' לסה"נ ביוזמת אחד הנציבים, אולי פונטיוס פילטוס, לצורך הזנת האמה העליונה שהגיעה אל העיר העליונה של ירושלים. במאה ה' לסה"נ שוקמה ושופצה מנהרת הפירים, ומימיה של אמת הביאר הוזרמו לקולוניה איליה קפיטולינה.

תודות

מחקר זה נערך בתמיכת מרכז סוזן ורוג'ר הרטוג לארכיאולוגיה של ירושלים ויהודה במכון לארכיאולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים. אנו מבקשים להודות לחברי מועדון שוחרי המערות שסייעו בעבודת השדה בתנאים מורכבים: דני ביילינסון, נמרוד קפון, אסף בז'רנו, מיקי ברקלי, דורון שולמן, עידו מרוז, סרגי אלימוב, ספי גבעוני, שי הרץ וקרן מיזינסקי. תודה לחברים שסייעו בסקר באופן כללי: מאיר רוטר, ליאור אנמר, בנימין טרופר, נדב גרשוני, עופר אשכנזי, נתנאל כהן, דוד הראל, יוני וידברג, איתמר ריין

יוני רוזנטשטרק. תודה לסרגיי לנקביץ' ואהוד רוזוב על הצלילה בפיר 6, ולחקלאי אל־חאדר על שיתוף הפעולה והאפשרות לסקור את המערכת התת־קרקעית.

ביבליוגרפיה

ביליג י' ודולינקא ב"ג 2013. ירושלים, דרך חברון, אמת המים העליונה. **חדשות ארכיאולוגיות – חפירות וסקרים בישראל** 125 (30.8.2013). http://www.hadashot-esi.org.il/report_detail.aspx?id=2332&mag_id=120 (תאריך גישה 30.6.2021).

בן יעקב י' 1985. אמות המים הקדומות לירושלים. בתוך ע' זיהוני, עורך. **דרך ארץ: אדם וטבע**. ירושלים. עמ' 105–94.

גבע ה' תשס"ח. אומדן אוכלוסיית ירושלים בתקופתה הקדומות: ההצעה המינימליסטית. **ארץ־ישראל** כח: 50–65.

גרן ו' 1983. **תיאור גיאוגרפי, היסטורי וארכיאולוגי של ארץ־ישראל ג: יהודה** (תרגום מצרפתית לפי מהדורת פאריס 1868, ח' בן־עמרם). ירושלים.

הירשפלד י' 1989. אמות המים בעולם היווני רומי. בתוך ד' עמית, י' הירשפלד וי' פטריך, עורכים. **אמות המים הקדומות בארץ־ישראל**. ירושלים. עמ' 28–3.

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

יחזקאל ע' ופרומקין ע' 2019. השפעת השינוי בכמות המשקעים השנתית על ספיקת מעיינות השכבה בהרי ירושלים. **אופקים בגיאוגרפיה** 96–26:4.

יחזקאל ע', טרופר ב', לנגפורד ב', פורת ר' ופרומקין ע' 2019. מערכת המים הקדומה בעין פעור. **מחקרי ארץ יהודה** ג. כפר עציון. עמ' 153–135.

מזר ע' 1989. סקר אמות המים לירושלים. בתוך ד' עמית, י' הירשפלד וי' פטריך, עורכים. **אמות המים הקדומות בארץ־ישראל**. ירושלים. עמ' 195–169.

מירון י' 1986. עין אל מע'רה, ואדי ביאר. **נקרות צורים** 30:13–1:31.

מירון י' ופרומקין ע' 1986. עין ואדי אל ביאר — מערת המעיין הגדולה בישראל. **נקרות צורים** 99:13–103.

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

סלמה ע' וזילברמן י' 1986. אספקת המים לירושלים במאות הט"ז והי"ז. **קתדרה** 91:41–106.

סנה ע' ואבני י' 2011. **המפה הגיאולוגית של ישראל, 1:50,000. גיליון 11-II: ירושלים**. ירושלים.

סנה ע' ורוס י' 2012. **המפה הגיאולוגית של ישראל, 1:50,000. גיליון 11-IV: חברון**. ירושלים.

ספראי' ז' תש"ף. עליה לרגל בימי הבית השני. בתוך י' גפני, ר' רייך וי' שוורץ, עורכים. **ספר ירושלים בימי הבית השני: 332 לפסה"נ – 70 לסה"נ**. ירושלים. עמ' 236–203.

עמית ד' 2009. אספקת המים לעיר העליונה בימי הבית הראשון ובימי הבית השני לאור החפירות ליד בריכת ממילא. בתוך ד' עמית, ג' שטיבל וא' פלג־ברקת, עורכים. **חידושים בארכאולוגיה של ירושלים וסביבותיה** ג. ירושלים. עמ' 108–94.

פטריך י' 1980. אמת המים מעיטם והלכה צדוקית אחת. **קתדרה** 7:11–23.

צוק צ', מירון י', וולובלסקי ק' 1986. סקר אמת הביאר. **נקרות צורים** 109:13–129.

- צוק צ' 2011. **מים בקצה המנהרה**. יד יצחק בן צבי, ירושלים.
- רוט י' ופלכסר ע' תשל"ז. המסלע ביהודה ושומרון וניצולו על ידי האדם. **יהודה ושומרון** א. ירושלים. עמ' 3-13.
- רייך ר' תשע"ג. הערה על מניין תושבי ירושלים בימי הבית השני. בתוך א' ברוך, י' לוין וא' לוי רייפר, עורכים. **חידושים בחקר ירושלים** יח. רמת גן. עמ' 75-81.
- רייך ר' וברוך י' תשע"ז. על אודות הרחבת הר הבית בשלהי ימי הבית השני. **קתדרה** 164:7-24.
- Ameling W., Cotton H.M., Ecker A., Isaac B., Kushnir-Stein A., Misgav H., Price J., Weiß P. and Yardeni A. eds. 2018. *Corpus Inscriptionum Iudaeae/Palaestinae* IV, 1: *Iudaea/Idumaea*. Berlin-Boston. Pp. 652-676.
- 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. *Journal of Roman Archaeology, Supplementary Series* 46:245-252.
- Chanson H. 2000. Hydraulics of Roman Aqueducts: Steep Chutes, Cascades, and Dropshafts. *American Journal of Archaeology* 104:47-72.
- Conder C.R. and Kitchen H.H. 1883. *The Survey of Western Palestine: Memoirs of the Topography, Orography, hydrography, and archaeology* III: Judea. London 1883.
- Frankel R. 2002. The Hellenistic Aqueduct of Akko-Ptolemais. *Journal of Roman Archaeology, Supplementary Series* 46:82-87.
- Frumkin A. 2014. Bedrock Water Tunnels in the Southern Levant: Deviations, Surveying Techniques and Shaft Construction. 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. 43-52.
- Gibson S. and Lewis R.Y. 2019. The Subterranean Tunnel System beneath Christ Church near Jaffa Gate: Evidence of Guerilla Warfare and a Refugee Hideaway from the Time of Titus' Siege of Jerusalem. In O. Peleg-Barkat, Y. Zelinger, J. Uziel and Y. Gadot eds. *New Studies in the Archaeology of Jerusalem and Its Region* 13. Jerusalem. Pp 18-56.
- Heyd U. 1960. *Ottoman Documents on Palestine: 1552-1615; A Study of the Firman according to the Mühimme Defteri*. Oxford.
- Judson S. and Kahane A. 1963. Underground Drainageways in Southern Etruria and Northern Latium. *Papers of the British School at Rome* 31. Rome. Pp. 74-99.
- Lombardi L. and Santucci E. 2020. Le acque di Roma repubblicana. In A. D'Alessio, M. Serlorenzi, C.J. Smith and R. Volpe eds. *Middle Republican Rome from the Conquest of Veio to the Battle of Zama. Proceedings of the International Conference Rome, 5-6-7 April 2017*. Rome. Pp 267-298.
- Masterman E.W.G. 1902. The Water Supply of Jerusalem: Ancient and Modern. *The Biblical World* 19(2):87-112.

- Mazar A. 2002. A Survey of the Aqueducts to Jerusalem. *Journal of Roman Archaeology, Supplementary Series* 46:210–242.
- Nini R. 1994. Un Sistema Romano Di Captazione Idrica Nel Centro Srotico Di Amelia (Terni): La Fontana Di Porcelli. *Atti XVII Congresso Nazionale di Speleologia*, Castelnuovo Garfagnana, settembre (1994). Castelnuovo di Garfagnana. Pp. 355–361.
- Peleg N. and Gvirtzman H. 2010. Groundwater Flow Modeling of Two-Levels Perched Karstic Leaking Aquifers as a Tool for Estimating Recharge and Hydraulic. *Journal of Hydrology* 388:13–27.
- Pierotti E. 1864. *Jerusalem Explored: Being a description of the Ancient and Modern City* 1 (Text). Cambridge.
- Regev J., Uziel J., Lieberman T., Solomon A., Gadot Y., Ben-Ami D., Regev L. and Boaretto E. 2019. Radiocarbon Dating and Microarchaeology Untangle the History of Jerusalem's Temple Mount: A View from Wilson's Arch. *Plos one* 15(6):1–17.
- Schick C. 1878. Die Wasserversorgung der Stadt Jerusalem. *Zeitschrift des deutschen Palästina-Vereins* 1:132–176.
- Sieglmann A. 2002. The Tunnels of Taninim and Snunit. *Journal of Roman Archaeology, Supplementary Series* 46:130–140.
- Smith G.A. 1907. *Jerusalem: The Topography, Economics and History from the Earliest times to A.D. 70*. London.
- Szanton N., Hagbi M., Uziel J. and Ariel D.T. 2019. Pontius Pilate in Jerusalem: The Monumental Street from the Siloam Pool to the Temple Mount. *Tel Aviv* 46:147–166.
- Weksler-Bdolah S. 2019. *Aelia Capitolina: Jerusalem in the Roman Period; In Light of Archaeological Research*. Leiden.
- Wilson C. 1865. *Ordnance Survey of Jerusalem: Made in the Years 1864 and 1865*. Southampton.
- Wilson C.W. and Warren C. 1871. *The Recovery of Jerusalem: A Narrative of Exploration and Discovery in the City and the Holy Land* 1. New York.
- Wilson C. 1905. Centurial Inscriptions on the Syphon of the High-Level Aqueduct at Jerusalem. *Palestine Exploration Fund Quarterly Statement* 37:75–77.