



אתרי כריית נחושת בערבה, בדרום-מזרח ישראל ובדרום-מערב ירדן: תפוצה ומאפייני החללים של אתרים "חדשים" ושל אתרי כרייה מוכרים

ב' לנגפורד^{1*}, ע' פרומקין¹, א' בן-יוסף²

¹ המרכז לחקר מערות, המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית בירושלים
² החוג לארכיאולוגיה ותרבויות המזרח הקדום, אוניברסיטת תל אביב

* פרטי התקשורת: boaz.langford@gmail.com

ת ק צ י ר

פעילות כרייה והפקה של נחושת התרחשה בעת העתיקה לאורך בקעת הערבה על שני צדדיה. הכרייה, לאורך תקופות הפעילות השונות, התקיימה בארבעה מרכזים עיקריים הכוללים את אזור ואדי פינאן ואת בקעת ואדי אבו ח'ושייבה במזרח הערבה, ובמקבילותיהן בקעת תמנע ונחל עמרם בדרום-מערב הערבה. אולם מתברר שמעבר למרכזים מוכרים אלו, יש אתרי כרייה מבודדים שזכו עד כה לתשומת לב חלקית במחקר. חלקם התגלו רק לאחרונה, ויוצגו לראשונה במסגרת זו. הם כוללים מכרות גדולים למדי, שחלקם מהסוג המוגדר כמכרות בעלי עמודים, וכן כמה מכרות קטנים מאוד. מאפייני מכרות מבודדים אלו יידונו במאמר הנוכחי תוך כדי השוואה לידוע על המכרות במרכזי הכרייה העיקריים. על אף, ואולי בשל מיקומם יוצא הדופן – נראה שלפחות לחלק מהמכרות המבודדים היה פוטנציאל לתרום באופן משמעותי להיסטוריית ניצול הנחושת במרחב. תיעודם של המכרות המבודדים משלים את התמונה הכוללת של פעילות הכרייה בערבה, נוסף למוכר ממרכזי הכרייה הגדולים.

מילות מפתח:
הערבה
מכרות נחושת
מטורגיה
אם אל-עאמד

Comprehensive examination of copper mining sites at the 'Araba Valley, Southeastern Israel and Southwestern Jordan: Distribution and site characteristics of "new" and known mining sites

B. Langford^{1*}, A. Frumkin¹, E. Ben-Yosef²

¹ Israel Cave Research Center, The Institute of Earth Sciences, The Hebrew University of Jerusalem, Israel

² Department of Archaeology and ANE Cultures, Tel Aviv University, Israel

* Corresponding author: boaz.langford@gmail.com

A B S T R A C T

Keywords:

'Araba valley
Ancient copper mines
Metallurgy
Umm al-'Amad

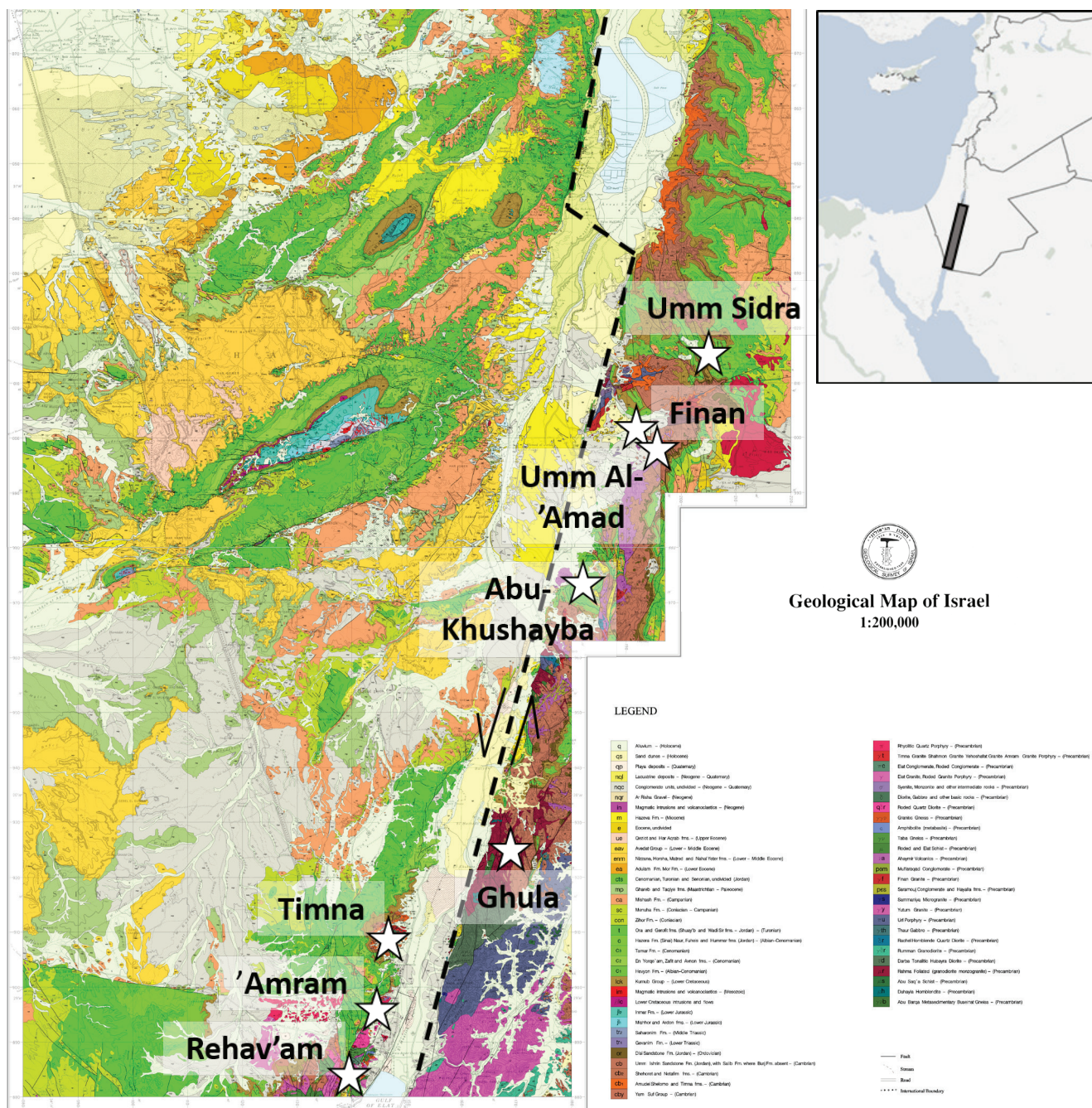
Ancient copper mining and smelting activities occurred on both sides of the 'Araba valley. These took place in four main centers: The Faynan region and Wadi Abu Khushayba in the eastern 'Araba and their counterparts Timna Valley and Nahal 'Amram in the southwestern 'Araba. However, beyond these well-known copper industry centers, there are isolated mining sites that so far have received only limited attention in research, some of which have only recently been discovered and are presented here for the first time. They include fairly large mines, some of which are of the type defined as 'Columned Mines' (or the Umm al-'Amad type) as well as a number of very small mines. The characteristics of these isolated mines will be discussed in the present article, compared with the known sites in the main mining centers. Despite their unusual location, it seems that at least some of the isolated mines had the potential to make a significant contribution to the history of copper exploitation in the area. Documentation of the isolated mines completes the overall picture of mining activity in the 'Araba, in addition to what is already known about the major mining centers.

1.1 רקע מרחבי

בקעת הערבה היא שקע טופוגרפי מוארך, הגובל בדרום בחוף הים האדום ובצפון בחופו הדרומי של ים המלח (איור 1). הרי אדום שבשוליים המזרחיים של הערבה מתנשאים עד לרום 1,700 מ' מעל פני הים, כמעט פי שניים מהרי יהודה והנגב שבשוליים המערביים. רכס נמוך שגובהו 210+ מ', עובר לרוחב מרכז הערבה ומפריד אותה לשני אגנים, צפוני ודרומי. האגן הצפוני מתנקז אל ים המלח שברום -430 מ', ואילו הדרומי מתנקז אל סדרת עמקים פנימיים בעלי רום של 0 עד +50 מ'.

1. מבוא

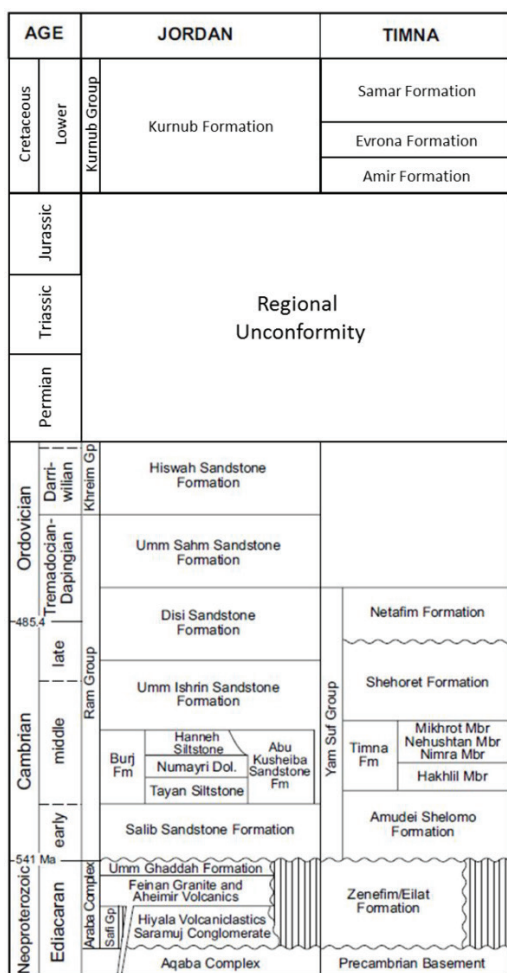
תעשיית הנחושת העתיקה בערבה מוכרת במחקר כבר מהמחצית הראשונה של המאה ה-18. סדרת מחקרים נערכה במהלך המאה ה-20 בכמה אתרים מרכזיים ובולטים לאורך הערבה, בראש ובראשונה בתמנע ובפינאן וכן באבו ח'ושייבה, בעמרם ובאם אל-עאמד. אתרים נוספים וקטנים יותר לא נסקרו או שלא נדונו בספרות המחקרית. עבודה זו סוקרת את כלל אתרי הנחושת המוכרים כיום בערבה, ומציגה תמונה שלמה יותר של מערך הכרייה באזור. התמונה כוללת התייחסות למכרות בודדים, הנמצאים מחוץ למרכזי תעשיית הנחושת המוכרים, לצד אתרי הכרייה המרכזיים. חלק מהמכרות הללו מוצגים כאן לראשונה או שהם מובאים כעדכון לפרסומים קודמים.



איור 1: מפה גאולוגית של הנגב והערבה (מתוך: Sneh et al., 1998). הכוכבים הלבנים מסמנים את מיקום אתרי הכרייה הנזכרים בטקסט. המלבן האפור שעל המפה הקטנה מסמן את גבולות הערבה ואת מיקומה

שתיהן מגיל קמבריום (Powell et al., 2014; טבלה 1). לעומת זאת במערב הערבה מופיעים מכרות באבני החול הבהירות מגיל קרטיקון תחתון, באזור המגע בין תצורות אמיר ועברונה וכן בחלק התחתון של תצורת שחורת מגיל קמבריום (Beyth et al., 2018; Weissbrod and Sneh, 2002). מתחת לסלעי הקרטיקון יש אי-התאמה משמעותית המייצגת פרק זמן שונה בכל אחד מצידי הערבה. בצד המערבי אבני החול הקרטיקוניות מונחות על גבי יחידות מגיל קמבריום, בעוד בצד המזרחי הן הורבדו על גבי יחידות מגיל קמבריום ועד דבון (בייט וקלבו, 2015; 2013; Bandel and Salameh, 2013; טבלה 1).

טבלה 1: קורלציה סטרטיגרפית בין שני צידי הערבה, עבור יחידות מגיל קמבריום ועד קרטיקון תחתון. מתוך: Powell et al., 2014



2. שיטות

במסגרת עבודה זו מופו כמה מן המכרות שטרם נמדדו בעבודות קודמות. חלק מהאתרים מופו מחדש במטרה להעמיד מיפוי מדויק יותר ובשימוש בכלים עדכניים יותר ממה שנעשה בעבר. התפתחות שיטות המיפוי נמצאת כיום בתאוצה משמעותית, כך שייחכן שיימצא מקום לבצע בעתיד תיעוד מדויק יותר למשל בסריקה, ולא רק במדידות בדידות (Šupinský et al., 2022).

1.2 רקע גאולוגי

יצירת בקעת הערבה קשורה להתפתחות הביקוע בין אפריקה ובין ערב, כאשר לפני כ-18 מיליון שנים נתיב הביקוע נדד ממפרץ סואץ לקו בקע ים המלח (Garfunkel et al., 1981). הביקוע מתאפיין בתנועה אופקית שמאלית עם הסטה מרבית העומדת באזור זה על כ-110 ק"מ. סגנון התנועה השתנה לפני כשישה מיליון שנים עם תוספת של פתיחה ושל יצירת אגנים עמוקים (Joffe and Garfunkel, 1987; Garfunkel and Ben-Avraham, 1996; Sadeh et al., 2012) לצד התרוממות השוליים (Wdowinski and Zilberman, 1996). אופי התנועה הוביל לחשיפה מגוונת של יחידות סלע בשני צידי הערבה (Powell et al., 2014; איור 1, טבלה 1), כולל סלעים מהתשתית הקריסטלינית ועד סדימנטים מהמיוקן ואילך, הקשורים בהתפתחות המאוחרת של הערבה. סלעים מגמטיים ומטמורפיים מגיל פרהקמבריום עד קמבריום מוקדם משתייכים לתשתית הקריסטלינית של השילד הערבו-נובי (Elisha et al., 2017; Jarrar et al., 2013), אשר גדוע בכל המרחב על ידי מישור אירוזיה המכונה "פנפליין" (Segev, 2016). אבני חול ומעט משקעים ימיים מגיל קמבריום ועד קרטיקון תחתון הורבדו על גבי המסלע הקריסטליני הגדוע (Kolodner et al., 2006; Powell et al., 2014). כאשר על גביהם הושקעו סלעים ימיים מגיל קרטיקון עליון ועד איאוקן. עיצוב הנוף הנוכחי של הערבה ושוליה קשור באופן ישיר במאורעות שהתרחשו מהאוליגוקן ועד ההווה. גידוע נרחב במהלך האוליגוקן נפסק במעבר למיוקן, כשהחלה פעילות טקטונית משמעותית יותר לצד יצירת טופוגרפיה (Avni et al., 2012). משקעים יבשתיים וסדרות וולקניות מגיל מיוקן (Weinstein and Garfunkel, 2014; Zilberman and Calvo, 2013), וכן משקעים יבשתיים מגיל פליוקן ועד הולוקן (Avni et al., 2000, 2001) קשורים לשלבים השונים שמראשית ההתפתחות ועד העיצוב הנוכחי של בקעת הערבה.

גידוע נרחב, שהסיר חתך עבה מהנגב בסוף תקופת הקרבון או בתחילת הקרטיקון, גרם לכך שכשני ק"מ של חתך פאליאוזואי שיש בירדן חסרים בישראל. לכן ההסטה האופקית בין שני עברי הערבה העמידה זה מול זה חתכים עם סטרטיגרפיה שונה למדי (איור 1). באופן כללי, ממזרח לערבה חתך אבני החול מהפאליאוזואיקון עבה יותר מזה שבמערב, וכולל סלעים מתקופות האורדוביק, הסילור והדיבון – בעוד היחידות הימיות דקות יותר (Beyth and Salameh, 2013; Bandel and Salameh, 2013; Calvo, 2015). משני צידי הערבה בסיס החתך שמעל הפנפליין כולל יחידות קמבריות הכוללות אבני חול ומשקעים ימיים, בעיקר חרסיות ודולומיט. קבוצת המשקעים הימיים מכונה בישראל בשם "תצורת תמנע", ובירדן בשם "תצורת בורג" (לעיתים מכונה בספרות (DLS – Dolomite Limestone Shale Unit).

תצורת תמנע מכילה בחלקה העליון בצר נחושת, פרט מכרות (Powell et al., 2014; Segev, 1984; Shlomovitch et al., 1999), שבימי קדם נכרה בפינאן (Hauptmann, 2007; Levy et al., 2014; Weisgerber, 2006). יתר המכרות הקדומים בפינאן נחצבו בעיקר באבני חול המורכבות מעל, או אקוויולנטיות ליחידת הדולומיט של תצורת תמנע. אבני חול אלו כוללות במזרח הערבה את תצורת אבו ח'ושייבה ואת תצורת אום עשרין (בעיקר בחלקה התחתון, ביחידה המכונה בספרות (MBS = Massive Brown Sandstone

3.1 פינאן

אזור מרבצי הנחושת והאתרים הנלווים של פינאן משתרע על פני יותר מ-300 קמ"ר. הוא תחום בצפון באגן ואדי דח'ל, בדרום במוצאו של ואדי פייד לערבה, במערב בערבה עצמה, ובמזרח בשיפולים התלולים של הרי אדום. האזור מבוחר בסדרה של העתקים גאולוגיים המציבים סדרת הורסטים וגרביטים שבהם נחשפות יחידות מסלע ממרבית החתך הגאולוגי. בחלקו המערבי של אזור פינאן נמצא רכס חמרה-איפדאן, מחשוף סלעי תשתית מוארך בכיוון צפון-דרום, היוצר הפרדה טבעית בין העמקים הפנימיים של פינאן ובין הערבה. את הרכס חוצה במרכזו ואדי פיידאן, המשכו התחתון של ואדי פינאן. במרכז האזור, במפגש הוואדיות ע'וויר ודנא, נמצא האתר הגדול ביותר במרחב – תל ח'רבת פינאן. אתר עצום זה, הבנוי משכבות יישוב מתקופות רבות, מזוהה עם פונן המקראית ועם פאינו הרומית-ביזנטית. האתר נתן את השם למרחב כולו, ומיקומו המרכזי הופך אותו לנקודת מפתח באזור.

נאות מדבר רבים כולל המעינות ע'וויבה, פיידאן, בוורדה והמים הזורמים במוצאו של ואדי ע'וויר, אפשרו יישוב עשיר יחסית בתקופות הקדומות, ואף קיום חקלאות בקנה מידה משתנה לאורך הוואדיות. עובדה זו בשילוב הקרבה היחסית לעורף חקלאי עשיר יחסית ועם הופעה נרחבת של בצר היא כנראה הסיבה העיקרית לכך שהפעילות האנושית במכרות פינאן היא העוצמתית ביותר בערבה כולה. תעשיית הנחושת בפינאן זוהתה ופורסמה כבר במחצית הראשונה של המאה ה-18 (Jacobson, 2017), ועדויות נוספות נמסרו מחוקרים במהלך המאה ה-19 (Frank, 1964; Glueck, 1934, 1945; Musil, 1907). מחקר שיטתי שנעשה על ידי קבוצות מחקר גדולות, החל בפינאן רק בראשית שנות השמונים של המאה ה-20 ונמשך עד השנים האחרונות. קבוצות מחקר אלו כללו את משלחת מוזיאון המכרות הגרמני בבוכום בראשות אנדראס האופטמאן, מחקר של המרכז הבריטי לחקר הלבנט ופרויקט של אוניברסיטת קליפורניה, סן דייגו, בראשות תום לוי ומוחמד נג'אר (לסיכום המשלחות השונות ראו Ben-Yosef et al., 2014).

ניצול עופרות הנחושת בפינאן החל כבר בניאולית הקדם-קרמי כחלק מתעשייה לייצור חרזים ירוקים. אלו ככל הנראה נאספו מפני השטח ללא יצירת חללי כרייה. כריית עופרות לתעשיית ייצור נחושת התרחשה החל מהתקופה הכלכוליתית ונמשך בתקופות הברונזה הקדומה, הברזל, הרומית והממלוכית-איובית. שיא הפעילות תוארך לתקופת הברזל וכן לתקופה הרומית, אז התקיימה כרייה גם באתר אם אל-עאמד בדרום-מזרח פינאן (Weisgerber, 2006).

עופרת הנחושת בפינאן מופיעה בשתי תצורות גאולוגיות שונות שנכרו בתקופות שונות: תצורת בורג' ובסיס תצורת אם עשרין. מקור הנחושת ברוב התקופות היה בתצורת בורג', שם היא מרוכזת בשכבה העליונה ביותר של התצורה, ביחידה המקבילה לפרט העליון של תצורת תמנע בדרום הערבה. התצורה, המורכבת מדולומיט קשה וכהה ומפצלים אפורים, בולטת בנוף וניתנת לזיהוי מרחוק. בתקופת הברונזה הקדומה נכרו מכרות אופקיים אל תוך השכבה נושאת הבצר, והחל מתקופת הברזל כריית הנחושת מתצורה זו נעשתה בעיקר דרך פירים. אלה נחפרו מחלקה התחתון של תצורת אם עשרין, המורכבת מאבן חול חומה-בהירה, הנוחה באופן יחסי לחציבה. הפירים נכרו לעומקים משתנים בהתאם לעומק תצורת בורג' מתחת לפני השטח,

סרטוט המכרות בוצע בשיטות המיפוי המקובלות למיפוי מערות (Dasher, 1994). מדידת מרחק ושיפוע בוצעו על ידי מד-טווח לייזר מסוג Lieca DISTO X310. מדידת כיוון בוצעה בעזרת מצפן פריזומטי מסוג Suunto KB-14. מדידות אלו מייצרות קו וקטורי לאורך החלל, כאשר בכל תחנת מדידה נמדדו גם נתונים נפחיים: שמאל, ימין, למעלה ולמטה (LRUD). המדידה של אלו מתייחסת למרחק הדפנות מתחנת המדידה בכיוון ניצב לכיוון הווקטור. בשל כך הם בבחינת חתך רוחב בכל תחנת מדידה. תחנות המדידה נבנו מחומרים קיימים בשטח דוגמת גלי אבנים. השגיאה המכשירית עומדת על 1 מ"מ עבור המרחק, 0.5 מעלה עבור השיפוע, ו-1 מעלה עבור הכיוון. השגיאה המצטברת, הקשורה בעיקר בשיטת המדידה ובבניית תחנות מגלי אבנים, יכולה להגיע ל-1 מ' לכל 100 מ'. נתוני המדידות סורטוטו בעזרת מצפן ניווט Suunto MC2 על גבי נייר מילימטרי. סביב המדידות סורטוט מתאר החלל בשטח, על גבי הנייר, תוך כדי התייחסות לשלושה ממדים: היטל אופקי, היטל אנכי וחתכי רוחב. עיבוד תוצרי הסרטוט מהשטח נעשה בתוכנת WinKarst, שבעזרתה הוטלו המדידות באופן מדויק יותר מסרטוטן בשדה. מתאר החלל הועתק על גבי שולחן אור וסורטוט סביב קווי המדידות המדויקים. עיבוד גרפי של הסרטוט נעשה בתוכנת Windows Paint או ב-Adobe Illustrator.

חישוב אורך החללים נעשה בשקלול נתוני המרחק ($\sum L$) לאורך כל מחילות המכרה. נפח (V) חושב בהתאם למבנה החלל עם שוני בין מחילות לבין אולמות. עבור מחילות או פירים חושב הנפח כמכפלה של אורך החלל עם ממוצע פשוט של שטח חתך הרוחב (משוואה 1). עבור מכרות המורכבים מאולמות, הנפח חושב כמכפלה של שטח האולם ($\sum A$) בגובה הממוצע (משוואה 2). במקרים שבהם היו הבדלי מבנה מהותיים בתוך החלל, נפחו חושב כחיבור הנפחים של כל חלק בנפרד ($\sum V$).

$$1) V = \sum L * ((Avg(L) + Avg(R)) * (Avg(U) + Avg(D)))$$

$$2) V = \sum A * ((Avg(U) + Avg(D)))$$

נוסף למיפוי החללים, במסגרת העבודה נבדקו גם תרכיזי בצר לבחינת ריכוז נחושת וזהב. הדוגמאות נבדקו על ידי מעבדת המכון הגיאולוגי לישראל, שם הם נטחנו במוליט ומוצו באמצעות Aqua Regia למיצוי מתכות יקרות. ריכוז הנחושת נמדד במכשיר ICP-AES ואילו זה של הזהב נמדד באמצעות מכשיר ICP-MS.

3. אתרי כריית הנחושת בשולי הערבה

להלן יוצגו אתרי הכרייה בערבה על פי גודל האתר, כאשר האתר הגדול ביניהם מוצג ראשון. מכיוון שפרמטר הגודל יכול להיות מיוחס למידות כמו נפח, אורך או אף מבנה, נציין כי גודל האתר המוצג במאמר זה נקבע על פי היקף התעשייה שהתקיימה בו. מכאן שאתר הכולל מכרה בודד ייחשב קטן מאתר שבו מכרות רבים ושרידים הקשורים להפקה, לפולחן או למגורים. זאת גם אם נפחם הכולל של המכרות הרבים קטן מזה של המכרה הבודד.

את חלקו העיקרי של הר תמנע. ערוץ נחל תמנע מנקז את שטח הבקעה שמצפון להר, ואילו נחל נחושת ונחל נמרה מנקזים את צידה הדרומי. בכל השטחים שבהיקף הבקעה נחשפות אבני חול, הנושאות נחושת בתצורות אמיר ועברונה, ובהן רוכזה פעילות הכרייה בעת העתיקה. אף שפעילות זו דווחה כבר באמצע המאה ה-19 (Petherick, 1861), הרי עיקר לימודה נעשה במחצית השנייה של המאה ה-20 על ידי "משלחת הערבה" בהובלת בנו רותנברג (Muhly, 2018). החל מ-2012 פועלת בבקעת תמנע "משלחת החפירות המחדשות בבקעת תמנע" מטעם אוניברסיטת תל אביב בראשות ארז בן יוסף ("The Central Timna", Ben-Yosef, 2018).

פעילות הכרייה וההפקה בתמנע מתוארכת לתקופות אחדות: כלכלית, ברונזה קדומה, ברונזה מאוחרת וברזל קדום, הלניסטית, רומית-ביזנטית והמוסלמית הקדומה, כאשר שיא הפעילות משויך לסוף תקופת הברונזה המאוחרת והברזל (Ben-Yosef, 2018). אתרי הכרייה שבשטח הבקעה (איור 3) חולקו טיפולוגית לשלושה סוגים עיקריים. אלו הופרדו כרונולוגית על פי הרמה הטכנולוגית של כרייתם (Rothenberg, 2005). הכרונולוגיה המוצעת עבור הטיפולוגיות השונות נבחנה בתיארוך ישיר על ידי משלחת אוניברסיטת תל אביב (Ben-Yosef, 2018).

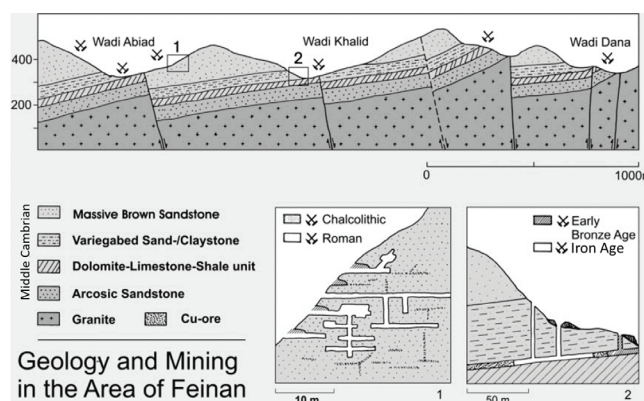
מכרות מטיפוס א' כוללים בורות כרייה פתוחים שנחפרו בחומר אלוביאלי. סוג כרייה זה ניצל בצר שהתבלה מאבני החול נושאות הנחושת והורבד במורד המערכת הנחלית. טכניקת הכרייה כללה חפירה רדודה של בורות פתוחים, והעברת חומר ממוין מבור אחד לצורך מילוי בור אחר. מכרות אלו נראים כיום כשקעים רדודים וקשים לזיהוי, הן בשל מילויים המקורי והן בשל תהליכי צבירה טבעיים. טיפוס זה של מכרות תוארך לראשית התקופה הכלכליתית וכן לסוף תקופת הברונזה עד לראשית תקופת הברזל. הדבר מעיד על שימוש בטכנולוגיה פשוטה בראשית כריית הנחושת בתמנע, אך גם על ניצול שלה באחת מתקופות הפעילות המשמעותיות ביותר במקום.

מכרות מטיפוס ב' כוללים פירים וגלריות שנחצבו ישירות לתוך השכבה נושאת הברזל, כלומר באבני החול הלבנות של אזור המגע בין התצורות אמיר ועברונה. חלים אלו כוללים פירים רדודים יחסית וגלריות רחבות שנחצבו בתקופה הכלכליתית בעזרת כלי אבן (איור 3א). מכרות מטיפוס ג' נחצבו גם הם ישירות באבני החול, אך בשונה ממכרות מטיפוס ב', אלו שטיפוס ג' נחצבו בכלי מתכת בחציבה עדינה ואיכותית יותר, תוך כדי יצירה של פירים עמוקים ושל גלריות מפותחות (איור 3ב). מכרות אלו משויכים לפעילות מסוף תקופת הברונזה ומראשית תקופת הברזל – אחת מתקופות השיא של פעילות הכרייה במקום. מרבית הבורות מן הסוג הזה סתומים כיום, כנראה בשל מילוי מבור לבור בדומה לטכניקה שתוארה בבורות הכרייה מטיפוס א'. בורות פתוחים מלמדים כי הם נחצבו עד לעומק של עשרות מטרים מתחת לקרקע, ומהם נחצבו התפצלויות לגלריות אופקיות.

כלל טיפוס המכרות כוללים חפירה או חציבה אנכית, כשלאחר סיום העבודה במקום בוצע מילוי מכוון או שהתרחשו בהם תהליכי צבירה טבעיים. אלו יוצרים בפני השטח שקע מעוגל שקיבל את הכינוי "צלחת" (כהן, 1976; Wechsler et al., 2020; איור 3ג). ריבוי בורות סתומים יוצרים בתמנע "שדות צלחות", שדומים להם קיימים גם בפינאן, בעמרם וברחבעם.

וחלקם מגיעים לעשרות מטרים (איור 2). כך למשל הפיר העמוק ביותר תועד בראש ואדי ח'אלד, והוא מגיע לעומק של יותר מ-70 מטרים (Hauptmann, 2007)!

בפתח הפירים נעשתה עבודת הפרדה ראשונית של מינרלי הנחושת מהסלע המארה. שרידי החומר הטפל, דולומיט ופצלים כהים, בולטים על רקע המדרונות הבהירים ומאפשרים זיהוי של הפירים ממרחק רב. בחלק מהפירים ניתן להבחין בסימני שפשוף חבלים ובמתקני עזר להצבת כננות. במקרים רבים מדובר בפירים המופיעים בזוגות – אחד לירידת הכורים והשני להעלאת הברזל. מכרות שנחצבו לתוך היחידה נושאת הברזל של תצורת אם עשרין, מאופיינים בגלריות אופקיות ובפירים רדודים. סגנון כרייה זה קשור כנראה לצורת הופעת הברזל בעורקים. כרייה בתצורת סלע זו התקיימה בעיקר בשחר המטלורגיה באזור, בכלכלית, עם שלב כרייה משמעותי נוסף בתקופה הרומית. שלב הכרייה הקדום מתאפיין בחללים רדודים שגובהם אינו עולה על מטר אחד. בתקופה הרומית הורחבו החללים לעומק יחידת הסלע, לצד הגדלה של החללים הקדומים באופן המאפשר לעמוד בהם (Hauptmann, 2000; Levy et al., 2014; Weisgerber, 2006).

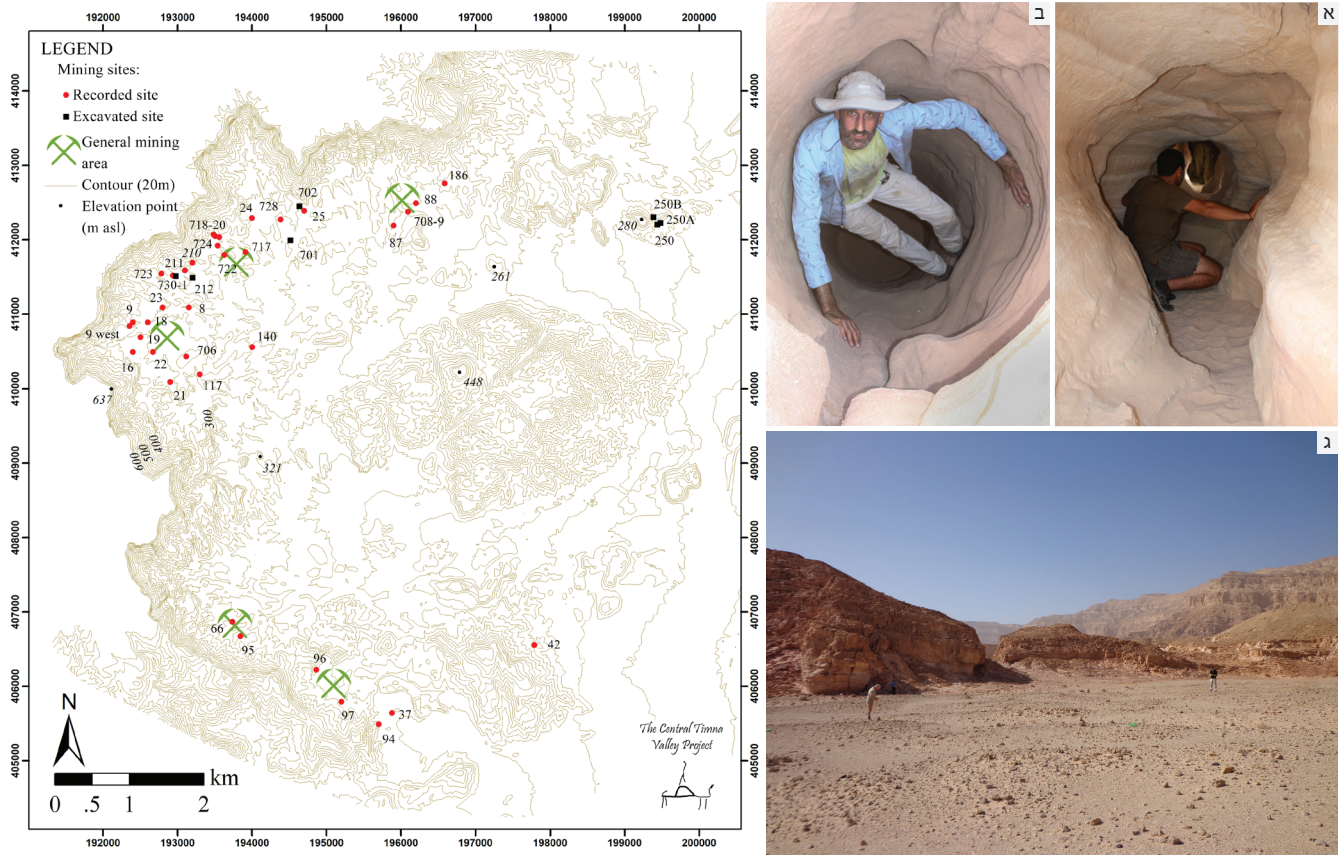


איור 2: סגנונות הכרייה ושכבות המטרה בתקופות הפעילות העיקריות בפינאן. מתוך: Hauptmann, 2000

סוג נוסף של מכרות אשר תועד בפינאן נראה כיום כשדה נרחב ובו מאות שקעים מעוגלים ורדודים (Ben-Yosef et al., 2009, 2014). שקעים דומים תועדו קודם לכן בתמנע, שם הם קיבלו את הכינוי "צלחות", ונמצא כי הם שרידים לפירי כרייה סתומים (כהן, 1976) או לשדות כרייה בבורות פתוחים (placer mines), שבהם נאסף הברזל מתוך הסחף (אלוביום/קולוויים) (Rothenberg, 2005). שדה המכרות שתועד בפינאן הוא מהסוג השני. מדובר באזור כרייה רחב היקף שבו התרכזה בלייה עשירת נחושת של גג תצורת בורג', מהחלק העליון והנטוי של ג'בל ג'אריה.

3.2 תמנע

תמנע היא בקעה אירוויבית בצידה המערבי של הערבה הדרומית, כ-25 ק"מ צפונית לאילת. הבקעה מוקפת מצוקים שבבסיסם נחשפת אבן חול מהקרטקון התחתון, ובראשם משקעים קרבונטיים מגיל קנומן (קרטקון עליון). מצוקי שולי הבקעה מתנשאים בצידם המערבי עד ~800 מ' מעל פני הים, משם הם משתפלים מזרחה אל עבר הערבה. במרכז הבקעה נחשפים סלעים מגמתיים מגיל פרה-קמבריום, הבונים



איור 3: שמאל – מפה טופוגרפית של בקעת תמנע ועליה סימון אזורי הכרייה וההפקה. מספרי האתרים מסומנים בכתב עומד. מספרים בכתב נטוי מציינים רום טופוגרפי של קווי גובה (עיבוד המפה: עמרי יגל, "משלחת החפירות המחודשות בבקעת תמנע"), ימין – (א) גלריה אופקית בחציבה גסה, המתוארכת לתקופה הכלכוליתית (Drenka, 2003; Shaw and Drenka, 2018), (ב) פיר אנכי צר מהסוג המתוארך לסוף תקופת הברונזה-תחילת תקופת הברזל, (ג) צילום אופקי של שדה צלחות המייצג מכרה פתוח בתוך משקעים אלובייליים (placer mines). במקרה זה הצלחות נראות כשקעים רדודים ובהירים, שלרוב קשים לזיהוי. רובן המוחלט של הצלחות בתמנע נוצר מעל פירים שנחצבו באבן החול, ומיושן בלבד מייצג כרייה בתוך האלוביום

Willies, 1991; 1999). מחקר מחודש בהובלת עוזי אבנר בוצע בבקעה בשנים 2011–2013 (Avner et al., 2018). במסגרת זו מופו מחדש המכרות המוכרים ואף התגלו מכרות רבים נוספים (Langford et al., 2018). בסך הכול תועדו 47 חללים שהיו ארוכים משלושה מטרים ועוד רבים שהיו קצרים מכך. הפעילות במכרות תוארכה לשלוש תקופות עיקריות: סוף תקופת הברונזה וראשית תקופת הברזל, התקופה הרומית-ביזנטית והתקופה המוסלמית הקדומה.

המכרות שתועדו בבקעת עמרים מייצגים את חללי הכרייה בעלי המבנה המורכב ביותר בערבה, ובהם נכללים גם המכרות הארוכים ביותר (איורים 4, 5). העבודה השיטתית שנעשתה בבקעת עמרים מראה שאורכם הכולל של המכרות הנגישים עומד על 2,453 מ' ונפחם על 5,274 מ"ק. המכרות שנמצאו מופיעים בכמה ריכוזים צפופים באזורים שבהם נחשפות אבני החול נושאות הנחושת. עיקר הכרייה בוצעה בתצורת עברונה, אך גם בתצורות אמיר ושחורת. חללי המכרות מאופיינים בגלריות מפותחות המורכבות בעיקר ממחילות צרות ומארכות, לעיתים בכמה מפלסים. חלק מהמחילות נחצבו בכלים גסים כמו מכושי חציבה גדולים המאפשרים חציבה של מחילות רחבות. אחרות נחצבו בכלים עדינים כמו פטיש ואזמל, המאפשרים חציבה של מחילות צרות. פירים אנכיים נחצבו לשם גישוש אחר עורקי נחושת,

3.3 עמרים

אתרי הכרייה של עמרים נמצאים בבקעה פנימית בצידה המערבי של הערבה הדרומית, כ-13 ק"מ מדרום לתמנע. המבנה המורפולוגי והמופע הגאולוגי של בקעת עמרים מזכירים את אלה שבבקעת תמנע, כלומר מבנה בולט של בלוק מגמטי המוקף מצוקים גבוהים. העליון של המצוקים בנוי מסלעים מריניים מגיל קרטיקון עליון עד טורון, בעוד החלק התחתון מורכב מאבני חול מגוונות מגיל קרטיקון תחתון. מינרליזציה של נחושת מופיעה באבני החול הקרטיקוניות ובייחוד באבן החול הבהירה של תצורת עברונה.

הבקעה מנוקזת על ידי שני ערוצים מרכזיים: נחל עמרים בדרום ונחל צפונות בצפון. בחלקם העליון של שני ערוצים אלה נחשפות אבני החול שבהן נחצבו מכרות הנחושת. אף שדיווחים על המכרות התפרסמו כבר בתחילת שנות החמישים של המאה ה-20 (ברסלבי, 1952; 1953, 1960; Glueck), מחקר סדור על אודותיהם התבצע רק עשור לאחר מכן. מחקר המכרות בוצע בהובלת בנו רותנברג (Rothenberg, 1963, 1967) אשר תיאר גם את מחנה הכורים הסמוך למכרות. עבודה מקיפה יותר בוצעה על ידי רותנברג ו-וויליס בסוף שנות השמונים, אז נערך מיפוי מפורט לחלק גדול מהמכרות בבקעה, כולל בדיקה מפורטת של התקופות הפעילות במקום (Rothenberg, 1967).

זו מקשה על אומדן נפחי החציבה. יש חללים פשוטים וקלים לחישוב, אולם אחרים, ודווקא הגדולים שבהם, כוללים שכבות מילוי שאינן מאפשרות לעמוד על נפחו המקורי של המכרה. נוסף למילוי הקשור בפעילות במכרה, בבקעת עמרם תועדו סדימנטים שנסחפו לפנים המכרה במהלך אירועים שיטפוניים שפקדו את פני השטח (Ginat et al., 2018). אם כן, נכון להתייחס לאורך ולנפח החללים שנמדדו כאל ערך מינימום. נפחי חומר טפל או ערמות סיגים יכולים להשלים את התמונה בכל הקשור לנפח הכרייה (Arav et al., 2018).

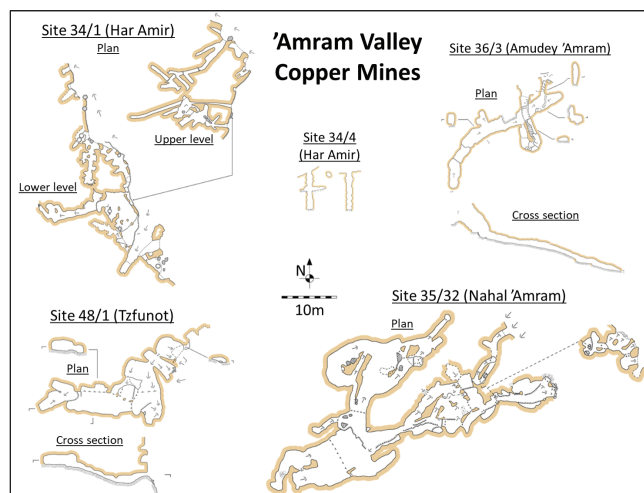
שדה צלחות המופיע על גבי משטח אלוביאלי במרכז הבקעה, מציג כרייה רדודה למיון חומר גלם מתוך האלוביום. הוצע לשייך סוג כרייה זה לפעילות מסוף תקופת הברונזה-ראשית תקופת הברזל (Avner et al., 2018), אך ייתכן מאוד שהפעילות בסוג זה של מכרות נמשכה על פני כמה תקופות, כפי שנמצא במכרות דומים בתנע.

3.4 מכרות אם אל-עאמד

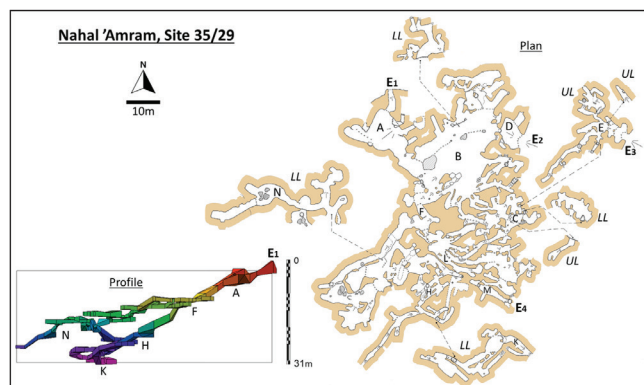
אתר הכרייה של אם אל-עאמד נמצא במורדות הרי אדום, כשבעה ק"מ מצפון-מערב למבצר שובך, בשוליים ההרריים של פינאן. סביבת המכרות מתאפיינת בקניונים עמוקים היורדים מרמת שובך אל עמק הערבה, כשבדרכם הם חושפים סלעים ימיים מגיל איאוקן ועד לסלעים קריסטליניים מגיל פרה-קמבריום. חתך עבה של אבני חול מורבד מעל לתשתית הקריסטלנית, כשקרוב לבסיסו נחשפת אבן בהירה של בסיס תצורת אם עשרין. ביחידה זו קיימת מינרליזציה של נחושת עם מגנן, ונחצב בה צמד מכרות מרשים. המכרות מרוחקים כק"מ אחד זה מזה, ובהם כמה עמודים בולטים (איורים 6, 7, 8). ממדיהם המפותחים ומיקומם המבודד הפכו את המכרות לאתר מסקרן אשר משך את תשומת ליבם של חוקרים רבים. דיווחים ראשונים על האתר פורסמו בתחילת שנות השלושים של המאה ה-20 (Glueck, 1935; Horsfield and Conway, 1930) ובעקבותיהם הגיעו חוקרים נוספים. החוקרים שביקרו במקום התייחסו בעיקר למכרה הצפוני מבין השניים, שבו זוהתה פעילות מהתקופה הרומית (Hauptmann, 2006; Kind, 1965; Meshel, 2006; Weisgerber, 2007). ב-1997 ניסתה להגיע למקום קבוצת מטיילים, שללא כוונה מצאה את דרכה אל מכרה סמוך שלא דווח עד אז, ובכך חשפה אתר כרייה בלתי מוכר (שמידע ורווק, 2000). עד כה פורסם תיעוד חלקי של המכרה הצפוני והמפורסם יותר (Richter et al., 2012), אך טרם פורסם מיפוי של המכרה הדרומי.

מכיוון שהשם אם אל-עאמד מתייחס לאזור כולו, הופרדו שמות המכרות על פי הנחלים שבהם הם נמצאים: המכרה הצפוני מכונה במאמר הנוכחי מערת אם אל-עאמד, והמכרה הדרומי נקרא מערת ואדי הייג'נה (איור 6). פירוש ישיר לשם אם אל-עאמד (أم العاقد) הוא "אם העמודים", כלומר משמעות השם היא [המערה] "בעלת העמודים". בהתאם לכך, מערות עמודים שונות קיבלו את אותו השם – הן המערות הנדונות בסעיף זה במאמר, והן מערת העמודים שבדרום בקעת אבו ח'ושיבה המופיעה בהמשך.

כחיבור בין מפלסי חללים מורכבים או כפיר גישה להוצאת חומר. מרבית הפירים האנכיים מולאו לאחר סיום השימוש בהם כך שלעיתים קיים קושי לאתרם. חשיפה של פירים אנכיים סתומים המתחברים אל חלל פתוח, מאפשרת לעמוד על אופי המילוי. מילוי זה כולל חומר טבעי מסביבת הפיר, אך בעיקר שאריות של חומר חציבה טפל וכן פסולת אנושית דוגמת עצמות בעלי חיים, קרמיקה, בדים ועוד.



איור 4: דוגמאות מיפוי של חללי הכרייה בבקעת עמרם. החללים מורכבים מגלריות מפותחות במבנה של רשת מחילות, לעיתים בכמה מפלסים. מספרי האתרים הם על פי Langford et al., 2018



איור 5: מיפוי אופקי ופרופיל תלת-ממדי של אתר 35/29 בנחל עמרם (Langford et al., 2018). באורך של ~1100 מ'. זהו מכרה הנחושת הארוך ביותר בערבה. סרטוט: ב' לנגפורד, מ' אולמן. שמות החללים מסומנים באותיות גדולות בגוף המפה ובסמוך לפרופיל. E – פתח. LL – מפלס תחתון. UL – מפלס עליון. שינוי הצבעים בפרופיל מבטא שינוי אנכי בעומק

תיארוך רדיומטרי וממצא ארכאולוגי מלמדים כי בדומה לתנע, הפירים האנכיים שבאבן החול נחצבו בסוף תקופת הברונזה-ראשית תקופת הברזל. בשונה מתנע, זו אינה תקופת פעילות משמעותית בבקעת עמרם, שבה עיקר הפעילות תוארכה לתקופה האסלאמית הקדומה. בתקופה זו התרחשה חזרה למכרות שפעלו בתקופה הרומית, כולל הפירה וריקון של מכרות סתומים (Avner et al., 2018). רב-שלביות

המכרה בעל הנפח הגדול ביותר בערבה כולה. לשם השוואה, המכרה השני בנפחו נמצא בבקעת עמרם, והוא עומד על 2,640 מ"ק בלבד (איור 5).

למכרה מוביל פתח רחב ונמוך הפעור בגדה הצפונית של ואדי אם אל-עאמד, כמה עשרות מטרים מעל האפיק. הפתח פונה לדרום-מערב, רוחבו 18 מ', וגובהו מגיע ל-1.1 מ'. הפתח מחולק על ידי ארבעה עמודים לחמישה פתחי משנה קמורים (איור 6). הפתחים הצדדיים נמוכים בהשוואה למרכזיים, כך שהכניסה נוחה יותר במרכז הפתח. בחזית הפתח יש משטח סלע צר וחשוף, ללא כיסוי של עפר תחוח וגללי עיזים, כיסוי המאפיין את קרקעית המכרה מקו הפתח ועד לקצהו הפנימי. על אף הכיסוי הדק ניתן להבחין בקרקעית בקווי מדרגה עדינים שגובהם עד 30 ס"מ. קווי המדרגה מופיעים בכל חלקי החלל, ונראה כי הם מסמנים חזיתות חציבה.

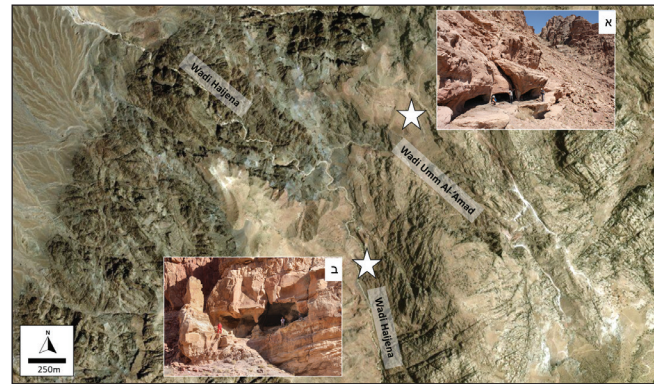
ההפתח נמשך חלל המכרה לצפון-מזרח ולאחר שמונה מטרים פונה לדרום-מזרח, כיוון הנשמר עד הקצה. מרחב הכניסה שלפני הפנייה נראה כחלל אופקי המחולק על ידי שלוש שורות עמודים. הקרקעית נוטה בירידה מתונה לכיוון פנים, והתקרה מקבילה לה בשיפוע דומה. סימני חציבה מופיעים בכל חלקי התקרה וכן בעמודים ובקירות. אלו נראים כצלקות אופקיות או מלוכסנות, מוארכות ומקבילות. סימני חציבה בעלי מראה שונה מופיעים כשקעים סביב תרכיזי נחושת שנתרו בגוף העמודים, כנראה בניסיון לנצל את חומר הגלם. שקעים נוספים שנחצבו בקירות המערה הם גומחות להנחת נרות. שקעים כאלה אינם מצויים בשפע ברחבי המכרה, לפיכך מעניינת העובדה שריכוז גומחות נחצב דווקא במרחב הפתח, באזור המואר למחצה. ריכוז הגומחות כולל שלושה שקעים גסים בעלי מתאר מעוגל שנחצבו זה לצד זה. גוף הסלע סביב השקעים כהה יותר מסביבתו בשל מה שנראה כזליגת שמן וספיגתו בקירות. מקרה דומה מוכר גם במכרות בקעת עמרם (Avner et al., 2018) ובמערת ואדי הייג'נה הסמוכה.

מאפייני החלל נשמרים גם לאחר פנייתו לדרום למעט מידותיו שמשתנות. באזור הפתח רוחב החלל כ-20 מ', ולאחר הפנייה דרומה הוא ממשיך להתרחב עד 27 מ'. מנקודה זו הולך החלל ומצר עד לקצה המכרה, כשמתרחשים בו שינויים מקומיים רבים. השינויים נובעים בעיקר מחציבתם של שקעים, נישות ומחילות בדופן הצפונית. מרכיב חריג הנראה כבור אנכי בקרקעית, נחצב סמוך לדופן הצפון-מערבי, כ-35 מ' ממזרח לפתח. עומק הבור 2.2 מ', קוטרו כ-1 מ', וצורתו הכללית מעוגלת.

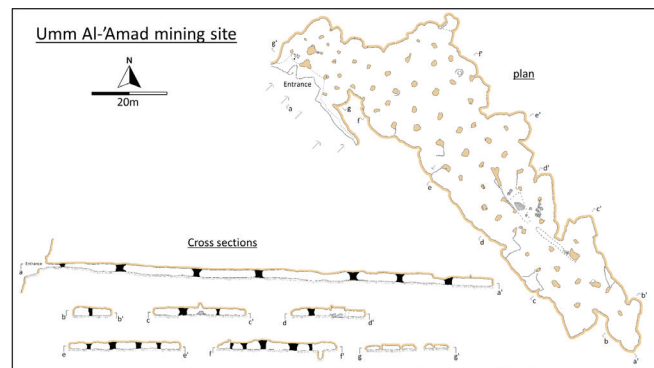
3.4.2 מערת ואדי הייג'נה

המכרה שבואדי הייג'נה מורכב בעיקרו מאולם מוארך ומכמה מחילות (איור 8). קריסות משמעותיות שאירעו בכל חלקי האולם, חילקו אותו לכמה חללי משנה הנראים כיום כחדרים או כאולמות קטנים המופרדים זה מזה על ידי סלעי מפולת גדולים. אורכו הכולל של המכרה 167 מ', עומקו 6 מ', וגובהו משתנה בין מחילות שגובהן כמה עשרות ס"מ, ובין חללים שגובהם מגיע ל-3 מ'. ממוצע הגובה והרוחב, כפול אורכו הכולל של המכרה, מצביע על נפח כולל של 1,466 מ"ק.

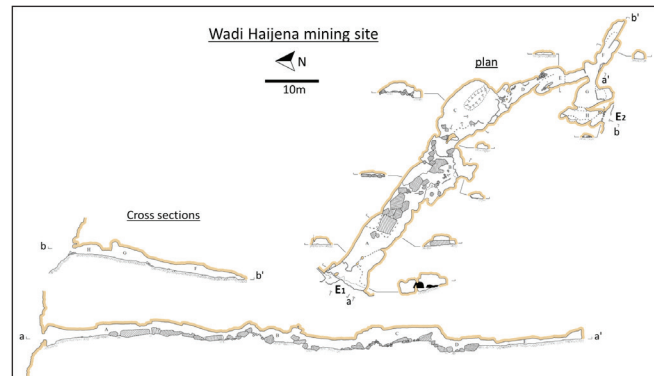
אל המכרה מובילים שני פתחים הפעורים בגדתו המזרחית של ואדי הייג'נה. העיקרי והגדול שבהם פעור כ-30 מ' מעל האפיק, מידותיו



איור 6: תצלום לוויין של אזור אם אל-עאמד שעליו מסומנים מיקומי המכרות בכוכב לבן (רקע מתוך: Microsoft Bing Maps). לצד כל כוכב מופיע צילום אופקי של פתח המכרה. (א) פתח מערת אם אל-עאמד, (ב) פתח מערת ואדי הייג'נה



איור 7: מיפוי חלל המכרה של מערת אם אל-עאמד - המכרה הבולט ביותר בקבוצת "מכרות העמודים" (סרטוט: ב' לנגפורד, א' כהן, א' גרוס, ע' בן, ת' נבט, מ' אולמן)



איור 8: מיפוי חלל המכרה של מערת ואדי הייג'נה, אתר מקבוצת "מכרות העמודים" שבהרים מעל פינאן (סרטוט: ב' לנגפורד, א' כהן, א' גרוס, מ' אולמן)

3.4.1 מערת אם אל-עאמד

מערת אם אל-עאמד היא מכרה המורכב מאולם מוארך שמידותיו 20x120 מ', גובהו האופייני הוא 2 מ', והוא נתמך על ידי 71 עמודים (איור 7). מרבית העמודים נחצבו זה לצד זה בשורות גסות, עד חמישה עמודים בשורה. חלק מהעמודים ניצב באופן מובהק לאורך קווי סידוק, אך מרביתם ניצבים באזורי מסלע רציף ומאפשרים יצירת מפתחים רחבים. מזידה של תפרוסת המערה, על שינויי המתאר שלה, מראה כי שטח החלל עומד על 2,138 מ"ר, ונפחו ~4,000 מ"ק. זהו אם כן

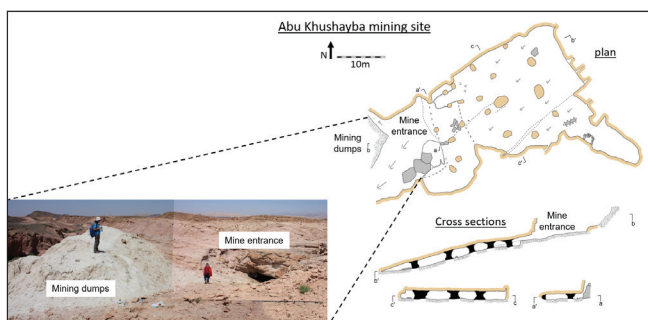
בשל סגנון הכרייה של אולם שתקרתו נתמכת על ידי עמודים, ואם בשל ממצא הקרמיקה במכרות ובסביבתם.



איור 9: תצלום לוויין של בקעת אבו ח'ושייבה. מיקומי המכרות המוכרים בה מסומנים בכוכב לבן (רקע מתוך: Microsoft Bing Maps). קווי העתקה ראשיים מסומנים בקו אדום מרוסק. H – הורסט, G – גרן

3.5.1 מכרה אבו ח'ושייבה

מכרה אבו ח'ושייבה מורכב מאולם גדול שנחצב בדופן הדרומי של גבעת אבן חול מקומית, ומפתח מלבני רחב המוביל אליו. בשולי הפתח ניצבים עמודים התומכים את תקרתו. בקרקעית הפתח יש הצטברות סדימנט חולי מעורב בגללי צאן. כתוצאה מכך הפתח כיום הוא אזור נוח פחות מאשר יתר חלקי המכרה. בחזית הפתח ישנה חצר רחבה הנראה כי נוצרה בחציבה, אולי בכוונה לחשוף את שכבת המטרה. קרקעית החצר משופעת, ומשני צידיה היא תחומה על ידי קירות נמוכים. בצידה הדרום-מערבי של החצר ישנה ערמה גבוהה של חומר טפל שמקורו בחומר הכרייה שהוצא מהחלל (איור 10).



איור 10: מיפוי חלל המכרה של מערת אבו ח'ושייבה, אתר מקבוצת "מכרות העמודים" בדרום בקעת אבו ח'ושייבה (סרטוט: ב' לנגפורד, ע' פרומקין, ש' פרומקין, מ' אולמן). צילום בשמאל: בחזית המכרה נראית חצר פתוחה עם ערמת חומר טפל

חלל המכרה בנוי מאולם רחב הנמשך מהפתח לצפון-מזרח תוך כדי ירידה עם שיפוע השכבות המקומי. מידות האולם אינן אחידות, ובממוצע עומדות על רוחב 22 מ', אורך 32 מ', וגובה 1.9 מ'. בהתאם לנתונים אלו ובתוספת מחילה פנימית קצרה, ניתן לאמוד את נפח המכרה ב-1,508 מ"ק. האולם נתמך על ידי 21 עמודים אשר נותרו במהלך חציבת החלל לצד קווי סידוק בולטים בתקרה (איור 10). על אף קיומם של העמודים הרבים, סלעי מפולת אחדים פזורים בנקודות שונות. אזור קרוס למדי

3.5x12 מ', והוא בולט למרחוק (איור 6). הפתח המשני פעור כמה עשרות מטרים מדרום לראשי, כ-50 מ' מעל אפיק הנחל. מידות הפתח 0.6x2 מ', מתארו קמור, וקשה להבחין בו מרחוק. הקושי נובע ממידותיו הקטנות של הפתח, אך גם בשל קיר אבני שדה החוסם את חלקו.

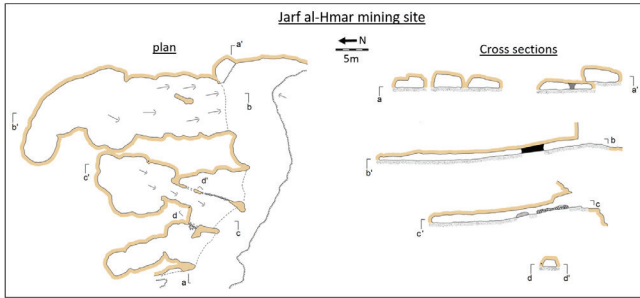
בחזית הפתח הראשי ניצב עמוד בלוי, חצוי במרכזו. צמד עמודים סמוכים ניצב בחלקו הפנימי של הפתח ויוצר חלוקה של מרחב הכניסה לשני מעברים מקבילים. המעבר הדרומי נמוך ביותר, ואילו המעבר הצפוני רחב, גבוה ובעל פרופיל פעמוני. קרקעית אזור זה מכוסה בשכבה עבה של גללי עיזים, סדימנט אבקתי בהיר ופיח מדורות. כיסוי זה מאפיין את כל חלקי הקרקעית, כולל את פני השטח העליונים של סלעי מפולת גדולים. הופעת הכיסוי גם על גבי סלעי המפולת מלמד כי הוא הורבד לאחר התמוטטות החלל, כנראה כחלק משימוש משני במערה כמחסה רועים. התקרה והקירות של המערה מכוסים בציפוי כהה, ובחלקים שלא קרסו ניתן להבחין שהוא מכסה סימני חציבה דומים לאלו שבמערת אם אל-עאמד הסמוכה.

מאזור הפתח נמשך החלל כמסדרון אופקי רחב בציר צפון-מערב-דרום-מזרח. כ-15 מ' מדרום-מזרח לפתח נחסם מרחב המסדרון בסלעי מפולת גדולים. מעברים צרים ביניהם ומעליהם מובילים לבסוף אל אולם נרחב, הגדול ביותר במכרה. מידותיו 10x15 מ' וגובהו 2 מ'. קרקעית האולם מכוסה דרדרות סלעים המעידות על המפולת שהתרחשו גם פה. בקצה הדרום-מזרחי של האולם ישנו מסדרון נמוך הנמשך לאורך הציר הכללי של המערה. מעבר דחוק בקצה המסדרון מוביל אל מחילה נמוכה המתחברת בסופה אל כמה חללים בניצב לציר המערה הראשי. בחללים אלו נשמר טוב יותר המתאר המקורי של המערה, ולפיכך ניתן להבחין גם בפרופיל המחילות ובמרכיבים שונים דוגמת נישות להנחת נרות, דרגשים וסימני חציבה רבים. בקצה המערבי של החללים פעור פתחה המשני של המערה.

3.5.2 בקעת אבו ח'ושייבה

בקעת אבו ח'ושייבה שבצידה המזרחי של הערבה, נמצאת כ-11 ק"מ מדרום-מערב לפטרה ו-13 ק"מ מצפון-מזרח לכפר א-רישה. מבנה הבקעה אינו תחום היטב, וצורתה היא כשל עמק פתוח שאליה מתנקזים קניונים היורדים מהרי פטרה. רכס מגמטי נמוך, ג'רף אל-חמר, תוחם את צידה המערבי של הבקעה וגורם להיצרות נוספת בערוצים הממשיכים מערבה אל מרכז הערבה. סביבת הבקעה מאופיינת בהעתקה גאולוגית, היוצרת בצידה הדרומי הפרדה בין סלעים קמבריים ופרה-קמבריים, לעומת צידה הצפוני, שם מועתקים סלעים מגיל קרטיקון תחתון ועד קנומן. שבירה זו היא חלק ממערך מרחבי היוצר סדרה של הורסטים וגרביים מקבילים בציר צפון-דרום. מבני העתקה אלו מובילים לחשיפה נרחבת של תצורת אבו ח'ושייבה נושאת הנחושת. בתצורה זו נחצבו שני מכרות עיקריים: מכרה אבו ח'ושייבה בדרום הבקעה ומכרות ג'רף אל-חמר בצפונה (איור 9). שני המכרות תוארו לראשונה על ידי קיינד (Kind, 1965) כחלק מסקר מקיף שערך בבקעת אבו ח'ושייבה. תיאור מפורט פחות נמסר על ידי משל (Meshel, 2006), אשר עסק באופן ממוקד בתופעת מכרות בעלי עמודים, והציע כי חציבתם של מכרות אלו נועדה לכריית זהב. שני אתרי הכרייה מתוארכים לתקופה הרומית, אם

שאורכן המרבי מגיע ל-4 מ', ורוחבן המשותף עומד על 11 מ' (אתר B). קרקעית החלל מכוסה סדימנט חולי והיא משתפלת מכיוון הפתח ומזרחה. הקירות והתקרה בלויים מאוד, וסימני החציבה טושטשו מהם לחלוטין. סימני חציבה אחדים שרדו על מקטע שמור שנמצא על גבי בלט הסלע המפריד בין הנישות. במורד הגבעה פעורים שני פתחים צמודים המובילים לצמד מחילות קצר. חלל המחילות מואר היטב, קרקעיתו אופקית וקירותיו בלויים ביותר (אתר C). בדומה לחלל הקודם, גם בחללים אלו שרדו רק מעט סימני חציבה.



איור 12: מיפוי החללים העיקריים באתר הכרייה של ג'רף אל-חמר, אתר מקבוצת "מכרות העמודים" בצפון בקעת אבו ח'ושייבה (סרטוט: ב' לנגפורד, ס' סלאמה)

מכרה נוסף הנמצא בבידוד מסוים ביחס למקבצים המתוארים, נחצב בגדתו הדרומית של ערוץ רחב הנשפך מצפון לוואדי ג'רף אל-חמר, כשבעה מטרים מעל האפיק (איור 11). למכרה יש פתח קטן שניתן לזיהוי בזכות ערמת חומר טפל המונחת בחזיתו. עמוד קטן הניצב בפתח יוצר הפרדה של החלל, כשהכניסה אפשרית מצידו המערבי. מהפתח נמשכת לדרום מחילה רחבה ונמוכה שלאחר חמישה מטרים מתפצלת למחילות משנה. קרקעית החלל מכוסה סדימנט חולי רב שנראה כי נסחף מאזור הפתח על ידי זרימה שיטפונית. מילוי זה גרם לסתימתו הכמעט מלאה של חלל המכרה.

3.6 נחל רחבעם

נחל רחבעם הוא ערוץ מקומי קצר היורד מרום הרי אילת ונשפך אל נחל שלמה. בדרכו חוצה הנחל מישור העתק המעמיד אבני חול מגיל קרטיקון תחתון לצד סלעים מגמטיים פרה-קמבריים. אבני החול כוללות את היחידות נושאות הנחושת של תצורות אמיר ועברונה. ביחידות אלו נחצבו שני מכרות סמוכים שבחזיתם, על גבי טרסת נחל מוגבהת, מופיעות כ-20 צלחות המייצגות שדה כרייה קטן. המכרה המערבי מבין השניים פורסם על ידי רוטנברג (Rothenberg, 1967), והוא בנוי מחדר פתוח שממנו נמשכות נישות רדודות בכמה כיוונים. האורך הכולל של חלליו מגיע ל-17.5 מ'. למכרה פתח גדול ובולט שמידותיו 1x4 מ', ומרחוק הוא נראה בטעות כשלושה פתחים נפרדים (איור 13א). מקורה של טעות זו הוא בנישה רדודה שנחצבה ממזרח לפתח וכן בקיר שנבנה בחלקו המזרחי. הקיר חוסם חלק ממרחב הפתח ונמשך גם אל מרכז המכרה, כך שהוא יוצר הפרדה בין חלל המכרה העיקרי ובין נישה צדדית שנחצבה בצידו המערבי.

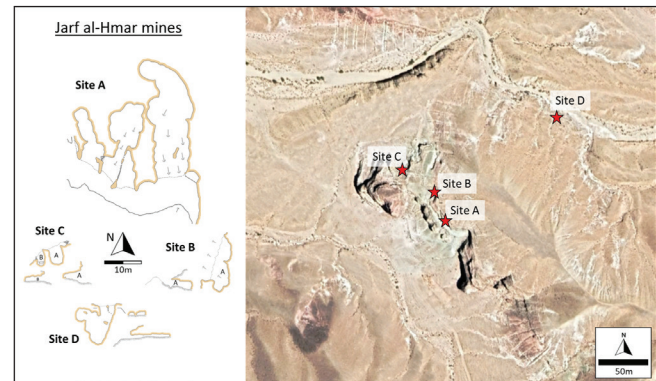
המכרה המערבי לא תועד בפרסומים קודמים של האתר, ומידע עליו נמסר לנו על ידי עוזי אבנר. המכרה מורכב מחלל מפותח למדי,

נמצא בצידו המזרחי של הפתח, שם נפלו כמה גושים מסיביים המפרים מעט את צורתם המקורית של הפתח ושל החלל.

קירות ותקרת המכרה מכוסים לחלוטין על ידי שכבת פיה שחור, המקשה על איתור תרכיזי בצר בדפנות המכרה. זיהויים פשוט יותר באזור החשוף הסמוך לפתח, ושם ניתן להתרשם מפזורם בסלע בצורה נרחבת ולא כעורקים. כיסוי הפיה מסתיר מעט גם את סימני החציבה הרבים המופיעים בכל חלקי המכרה. ניתן להתרשם כי חלק מהחציבה נעשה עם כלי בעל ראש רחב, וחלק בעבודה עדינה וממוקדת יותר, עם כלי בעל ראש מחודד. בחלקים שונים נחצבו נישות רדודות להנחת נרות וכן גשרי סלע המאפשרים קשירה של חבלים המשלשלים מהתקרה. חציבות של מרכיבים אלה קיימות גם במכרות דומים אחרים דוגמת אלו שבאתר הכרייה אם אל-עאמד.

3.5.2 מכרות ג'רף אל-חמר

מכרות ג'רף אל-חמר הם מקבץ חללי כרייה קטנים שנחצבו בצידה הצפוני של בקעת אבו ח'ושייבה (איור 9). המכרות נחצבו בשלושה מקבצים סמוכים בצידה הצפוני ובצידה הדרומי של גבעת אבן חול מבודדת, בגדתו הצפונית של ואדי ג'רף אל-חמר. נוסף לכך מוכר מכרה בודד בערוץ שמצפון וכן מחפורות פתוחות (איור 11). ייתכן שהמחפורות הן חלק ממערך כרייה הנחושת בעת העתיקה, אך ייתכן גם שהן קשורות לפעילות מודרנית של פריצת דרכים וחיפוש משאבי טבע. אורך החללים במקבצים השונים נע בין 4 מ' ל-30 מ', ונפחם הכולל עומד על 735 מ"ק.



איור 11: אתרי כרייה הנחושת של ואדי ג'רף אל חמר. ימין – תפוצת חללי הכרייה על גבי תצלום לוויין (רקע מתוך: Google Earth), שמאל – מיפוי החללים. מיפוי מפורט של אתר A נמצא באיור 12 (סרטוט: ב' לנגפורד, ס' סלאמה)

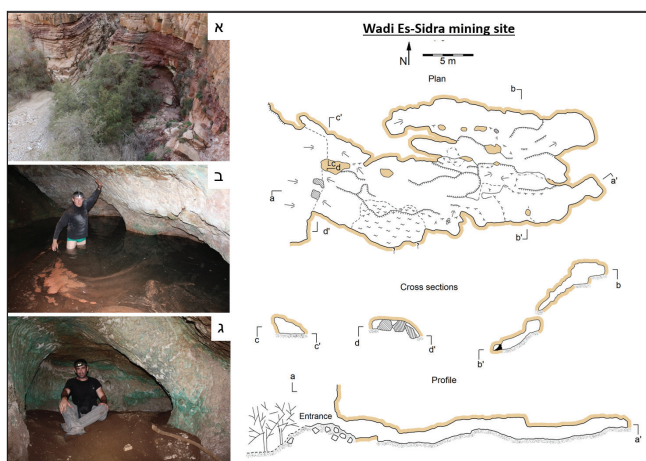
המקבץ הדרומי הוא הגדול והבולט ביותר באתר כרייה זה, וכולל ארבע מחילות רחבות התמוכות בעמודים (איורים 11, 12; אתר A). פתחי המכרות בולטים למרחוק, והגישה דרך מדרון מתון, העולה מתחתית הגבעה עד למדרגת סלע בחזית הפתחים – נוחה. על גבי הקירות ותקרת החללים נראים סימני חציבה רבים וכן סימני פיה שחור, אשר ודאי מסתיר את קיומם של תרכיזים ירוקים בסלע. תרכיזים אלה נראים מחוץ למחילות בשפע ובצפיפות מרשימה.

כמה עשרות מטרים מצפון-מערב למקבץ החללים ובגובה אחיד להם, חצוב חלל רדוד נוסף המורכב משתי נישות רדודות ורחבות

חסומות בסדימנט חולי. בשל כך לא ניתן לעמוד על גודלו המקורי של המכרה ועל היקף הכרייה במקום (עוזי אבנר, מידע בעל פה). בוואדי מרח' נמצאים כמה מכרות באורך של כמה עשרות מטרים, הערוכים בשתי קומות עיקריות שתחתיהן נמצאת קומה נוספת אך מעט צדדית יותר. חללי המכרה מורכבים מגלריות מוארכות המזכירות את שיטת הכרייה הנפוצה בבקעת עמרם, סגנון המאפיין כרייה בעקבות עורקי הבצר (עוזי אבנר, מידע בעל פה).

3.8 ואדי א-סדרה

ואדי א-סדרה הוא ערוץ קניוני עמוק בחלקו העליון של ואדי חנזירה שבצפון-מזרח הערבה. הערוץ הראשי יורד מהעיררה בוציירה ונשפך בסופו אל דרום ים המלח, ובדרכו הוא מתחתר בעיקר באבני חול מגיל קרטיקון תחתון וקמבריום. בגדת הערוץ, כשמונה ק"מ מצפון-מערב לבוציירה, נחשפות בו יחידות המכילות נחושת מבסיס תצורת אם עשרין מגיל קמבריום. בגדת הערוץ נחצב מכרה בודד בעל שלושה מפלסים הנפרשים על פני 93 מ' בנפח 401 מ"ק (איור 14). מכרה זה לא פורסם עד כה ומידע עליו נמסר לנו מסורין ליסקר, שביקר במקום עם עלי סולימן הוודי, בן המקום.

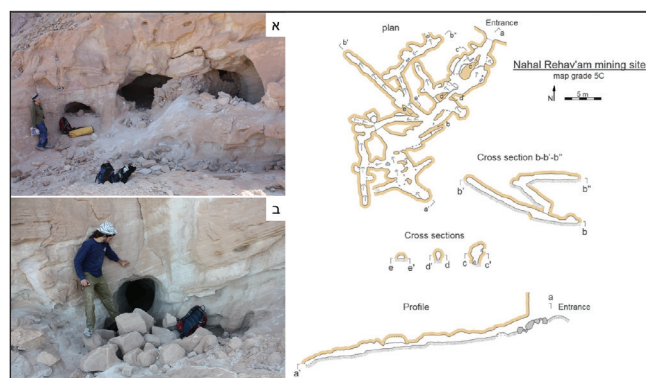


איור 14: ימין – מיפוי חלל המכרה של מערת ואדי א-סדרה (סרטוט: ב' לנגפורד, מ' גרין, א' בוריסוב, ו' בוסלוב), שמאל – (א) פתח המכרה בתחתית מצוק גדת הנחל, חבוי מאחורי עצי אשל וערמות מפולת, (ב) חלקו התחתון של החלל מוצף בבריכה בשל חציבתו מתחת לאקוויפר העונתי של הנחל הסמוך, (ג) גלריה בחלקו הפנימי של המכרה. בקירות מופיעים סימני חציבה רבים המכוסים בציפוי ירוק

פתח המכרה נחצב בגדת הנחל, מטרים בודדים מעל אפיק הזרימה (איור 14א). נראה שהפתח המקורי היה רחב ונוח לגישה, אך קריסה מאוחרת כמעט וסתמה את כולו. הפתח מוביל אל אולם רחב הנמשך מעט מתחת למפלס הפתח, וחודר אל אופק מי התהום של אפיק הנחל, ובהתאם לכך קרקעית האולם מוצפת על ידי בריכת מים שעומקה משתנה בהתאם לעונות השנה. מפלס המים מנע עד כה את בדיקתם של שני מעברים קמורים שנחצבו מדרום לבריכה, ואפשר שהם מובילים לחלקים נוספים של המכרה (איור 14ב).

במפלס גבוה של האולם ומצפון לחללו העיקרי נחצבו שלוש מחילות מקבילות, כל מחילה מעט גבוהה יותר מקודמתה. המחילות נמשכות מזרחה וביניהן מעברים רבים, חלקם רחבים ונוחים למעבר וחלקם

וכולל גלריות סבוכות במבנה של רשת מחילות צרות (איור 13). פתח החלל נחצב בתחתית קיר מצוקי שמידותיו 1x1 מ' ומתארו מעוגל (איור 13ב). סלעי מפולת וערמת סדימנט מסתירים מעט את הפתח כך שזיהויו אפשרי מקרוב בלבד. מהפתח נמשכת לדרום מחילה צרה שרוחבה כרוחב הפתח וגובהה משתנה. קרקעית המחילה משופעת בירידה, ככל הנראה בהתאם לשיפוע השכבות האזורי. ערוץ שיטפוני שהתחתר לאורך המחילה חשף בנקודות שונות משקעים נחליים שהורבדו במכרה בעבר. המשוף המרשים ביותר של משקעים אלה מצוי במחילה צדדית, המתפצלת ממחילת הכניסה ולאחר מטרים אחדים מתחברת אליה שוב. גובה המחילה מגיע עד ל-2.8 מ' כשמשקעים נחליים מורבדים על הקירות עד לגובה של 2.2 מ'. מעט לאחר חיבור המחילות, המכרה מתפצל לרשת מחילות צרות, שבדופנותיהן נראים סימני חציבה ברורים. נישות רדודות לנרות מופיעות בנקודות שונות לאורך המחילות, שבחלקן הפנימי ביותר נמשכות בשתי קומות שביניהן מחבר פיר מרובע. האורך המשותף של צמד המכרות עומד על 151 מ', והנפח על 81 מ"ק. אתר זה דומה מאוד למכרות בקעת עמרם וייתכן שכפי שנראה בבקעת עמרם, גם במכרות רחבעם התקיימה באותם חללים פעילות במהלך כמה תקופות.

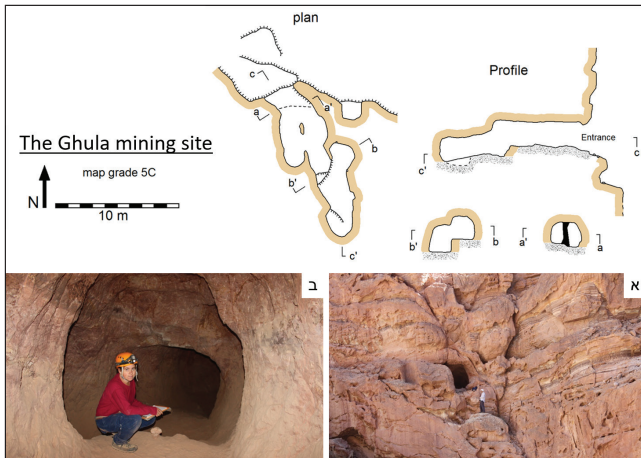


איור 13: ימין – מיפוי חלל המכרה הגדול באתר נחל רחבעם (סרטוט: ב' לנגפורד, מ' אולמן, א' כהן). שמאל – (א) פתח המכרה הקטן (המערבי) ובו בנייה מאוחרת של קירות פשוטים, (ב) פתח המכרה הגדול (המזרחי)

3.7 מכרות קטנים במזרח סיני, סמוך לראש מפרץ אילת

ממערב לראש מפרץ אילת, בצד המצרי של הגבול המודרני, מוכרים שלושה מכרות נוספים. אלה מכרות קטנים יחסית המייצגים פעילות מצומצמת. אחד מהם, שנמצא ב"בקעת הירח", נחפר לתוך התשתית הפרה-קמברית בתעלות פתוחות שמידותיהן 8–22 מ' אורך, 4 מ' רוחב, ו-2 מ' עומק (אבנר ונאור, 1978). מכרה זה מתוארך לפי ממצא פני שטח לתקופות הכלכוליתית-ברונזה קדומה ולברונזה מאוחרת-ברזל. שניים נוספים נמצאים קרוב יותר לקו החוף, האחד בוואדי טוויבה והשני בוואדי מרח'. שניהם תועדו לראשונה על ידי פריץ פרנק (Frank, 1934), והם מתוארכים לתקופה האסלאמית הקדומה (Avner and Magness, 1998). האתר בוואדי טוויבה כולל כמה מחילות, שנחצבו באבן חול בהירה באזור המעבר בין תצורת אמיר לתצורת עברונה, וכן אזור מצומצם עם מכרות מטיפוס הצלחות. המחילות נמצאות על גבי מדרון בצד המזרחי של הנחל, וכיום הן

תועד על ידי אבנר (Avner, 2002), והוא כולל כמה שוחות כרייה שנחצבו בתצורת שחורת. סביר להניח כי מכרות בדידים כאלו מצויים במקומות נוספים, וכי הם ימשיכו להתגלות בסקרי שטח עתידיים.



איור 15: למעלה - מיפוי חלל המכרה של מערת העולה (סרטוט: ב' לנגפורד, ע' פרומקין, ש' פרומקין, מ' אולמן), למטה - (א) פתח המכרה בגובה מצוק אנכי מעל קניון עמוק, (ב) מרכז חלל המכרה



איור 16: מכרות "רנדומליים" בהרי אילת, דרום-מערב הערבה. (א) חלל אופקי קצר במורדות הר שחורת, מעל "הגיא האבוד". נוסף לחלל שבצילום מוצגים במקום כמה בורות כרייה פתוחים שנחצבו לתוך תצורת אמיר (Avner, 2002), (ב) צמד גלריות קצרות שנחצבו בתצורת עברונה, גדת נחל שני עליון

צרים, כך שנראה שחציבתן קשורה לניצול החומר ולא ליצירת מעברים לתנועה.

קירות חללי המכרה מכוסים בקרום דק ואחיד בצבע ירוק בוהק, כנראה כתוצאה מהמסה ומהשקעה של עופרות הנחושת המצויות בסלע על ידי הלחות הגבוהה המגיעה מאידוי מי הבריכה. מתחת למעטה הצבע יש סימני חציבה מוארכים המעידים על שימוש בפטיש ובאזמל (איור 14ג). קרקעית המחילות מכוסה סדימנט חולי ולשלת עטלפים, כשסלע האם מבצבץ רק בנקודות אחדות. מעבר לשיטת הכרייה שבוצעה ככל הנראה בעזרת כלי מתכת כמו פטיש ואזמל, אין ממצאים נוספים היכולים להעיד על תיארוך המכרה.

3.9 מערת העולה

מכרה העולה נמצא בגדת קניון צר בגובה הרי אדום, בצידה המזרחי של הערבה, כשמונה ק"מ ממזרח-צפון-מזרח לכפר רחמה וכעשרה ק"מ מצפון-מערב לכפר גווירה. סביבת המכרה מאופיינת בקניונים עמוקים החוצים מערכות העתקה צפופות. ההעתקים הגאולוגיים מצביעים מסלע מריני מגיל קרטיקון עליון לצד אבני חול מגיל קמבריום, ולצד סלעים מגמטיים ומטמורפיים מגיל פרה-קמבריום. המכרה נחצב באבן חול בהירה מגיל קמבריום השייכת לתצורת אבו ח'ושייבה. דיווח על המכרה נמסר על ידי איתי חביב בספר העוסק במסלולי טיול בירדן (Haviv, 2000).

המכרה כולל מחילה פשוטה בעלת מתאר רבוע. מידותיה האופייניות הן 1.5x2 מ', אורכה הכולל הוא 17 מ', ונפחה 51 מ"ק (איור 15). פתחו הרבוע של המכרה נחצב בחלקו התחתון של מצוק גבוה בגדתו הדרומית של ערוץ הנשפך אל ואדי חובאט (איור 15א). מחילת המכרה נמשכת אופקית מהפתח דרומה, כשבחלק הקרוב לפתח ישנו עמוד סלע צר. העמוד מפריד בין המחילה לבין נישה רדודה שנחצבה בסמוך לה. מהעמוד ודרומה נמשכת המחילה בירידה מתונה, כשכמה מדרגות נמוכות שהותקנו במרכזה מסייעות בירידה אל העומק. הקרקעית מכוסה בסדימנט חולי דק, כשבקירות ובתקרה נראים סימני חציבה רבים (איור 15ב). בצידו המזרחי של מרכז המחילה נחצבה נישה נוספת, המזכירה בצורתה את הנישה הסמוכה לפתח. מהנישה ודרומה נמשכת המחילה הראשית ללא פיצולים נוספים, והיא מסתיימת לאחר מטרים בודדים. לא נמצאו ממצאים היכולים להעיד על גיל המכרה.

3.10 מכרות "רנדומליים"

הנתונים המצטברים ממזרח הערבה וממערב הערבה מלמדים על קיומם של אתרי כרייה נוספים, בהיקף קטן משמעותית מאלו המתוארים לעיל. כך למשל התגלו על ידינו מכרות זעירים בוואדי מרירה ממזרח לפטרה, וכן בגדת נחל שני שבהרי אילת. מכרות נחל שני דומים למכרות המוכרים במורדות הר שחורת, ואף בהרי אילת שבדרום-מערב הערבה (איור 16). באתרים הנדונים, הן בוואדי מרירה והן באלו שבהרי אילת, יש מחילות אחדות החצובות בסלעי תצורת עברונה מגיל קרטיקון תחתון. אורך המחילות מגיע למטרים בודדים, מידותיהן צרות וצורתן הכללית מעוגלת. אתר כרייה נוסף במורדות הר שחורת, אגן נחל רווד,

4. דיון

מערך כריית הנחושת בערבה כולל אתרים בעלי היקף תעשייתי משתנה. במכרות הגדולים התקיימה בכמה תקופות תעשייה רחבת היקף של כרייה ושל הפקת נחושת. באלו נכללים אתרי פינאן, תמנע, אבו ח'שייבה ועמרם, שם גם התמקדו רוב חוקרי תעשיית הנחושת בערבה. מערך כריית הנחושת בעת הקדומה בערבה, כפי שהוא מוצג במחקר, מבוסס על הנלמד מאתרים אלו, אך ללא התייחסות לאתרים נלווים המוצגים כאן לראשונה באופן מפורט. אתרים אלה כוללים את מערת ואדי הייג'נה, מכרות נחל רחבעם, מערת ואדי א-סדרה, מערת הע'ולה ומכרות קטנים ומבודדים משני צידי הערבה. לאתרים אלו עשויה להיות משמעות בכל הקשור להיקף התעשייה, לתקופות הפעילות ואף לזיהוי הקבוצות שעסקו בכרייה.

בהיעדר מחקר מקיף הכולל עבודה ארכאולוגית בסקר מרחבי ובחפירה ממוקדת, היקף הכרייה באתרים ה"חדשים" מוצג כאן בהתייחסות בעיקר למידותיהם ולנפחם. כפי שמלמדת העבודה בבקעת עמרם, נתון הנפח לבדו אינו מעיד על חשיבות האתר במערך הכרייה הכולל. תהליכי מילוי, מלאכותיים וטבעיים, משנים את נפח המכרה הגלוי כיום, ואף חוסמים חללים באופן שאינו מאפשר לאמוד את נפחו האמיתי של החלל המקורי. נפחי החומר הטפל והסיגים גדולים משמעותית מנפחי המכרות הפתוחים, דבר המעיד על הבעייתיות שבהתייחסות לנפחי המכרות הגלויים כיום. אם כך ההבנה בשלב זה היא שקיימים אתרי כרייה הרריים משני צידי הערבה, כלומר מחוץ לבקעות הגדולות המשמשות כאתרי תעשייה המרכזיים. למכרות ההרריים יש כנראה תרומה של ממש בניצול חומר הגלם, אם על ידי הרחבת פעילות הכרייה העיקרית אל מחוץ לאתרים המרכזיים ואם על ידי כרייה של קבוצות נפרדות, שעסקו בכרייה במקביל וללא קשר ישיר לפעילות ה"מוסדת" באתרים המרכזיים.

הצעה בדבר דפוס הפעילות באתרים המבודדים קשורה גם בבחינת תקופות הפעילות בהם. תיארוך מכרות או חללים באופן כללי הוא מלאכה מורכבת שאינה מאפשרת תמיד קביעה כרונולוגית חד-משמעית. במקרה הנדון ניתן לקבוע על פי סימני החציבה כי פעילות הכרייה או לפחות זו שהותירה סימנים, שייכת לתעשייה מהתקופות ההיסטוריות או לכל המוקדם מסוף תקופת הברונזה ואילך. כרייה באמצעות אומלים, שהתקיימה באתרים המדוברים, אינה מוכרת לפני פעילות סוף תקופת הברונזה המאוחרת וראשית תקופת הברזל, ועל כן היא בגדר אילוץ כרונולוגי לאותם אתרים. פעילות בתקופות קדומות יותר אפשר שהתרחשה בשדה הצלחות שבאתר נחל רחבעם. שדה הצלחות באתר זה טרם נחפר, ועל כן לא ברור אם מדובר בצלחות שנוצרו מעל כרייה רדודה בחומר אלוביאלי או שמה בצלחות המייצגות פירים שנחצבו אל אבן החול שמתחת לאלוביום.

כרייה בצלחות של כרייה רדודה מוכרת בערבה גם בתקופה הכלכלית, כך שללא עבודה ארכאולוגית במקום לא ניתן לשלול פעילות מתקופה זו בצלחות נחל רחבעם. עם זאת קיים דמיון מובהק בין אתר נחל רחבעם ובין מכרות בקעת עמרם, הן בקיומו של שדה צלחות על גבי טרסה אלוביאלי והן במבנה המכרות שנחצבו באבן החול. בשני האתרים נחצבו גלריות במבנה של רשת מחילות צרות ומעוגלות, ה"רודפות" אחר עורקים בסלע האם (איורים 4, 5, 13). נקודה נוספת

הראויה לציון היא שבשני האתרים לא נמצאו עדויות לפעילות הפקה משמעותית, ומכך אנו מסיקים שהם שימשו בעיקר לכרייה. אם כך ייתכן שבנחל רחבעם התקיימה פעילות באותו סגנון ובאותן תקופות שבהן התרחשה עיקר פעילות הכרייה בבקעת עמרם, כלומר בתקופה הרומית-ביזנטית ובתקופה האסאלמית הקדומה. ייתכן שהתרחשה אף פעילות קדומה יותר, שכללה כרייה באתר הצלחות.

נוסף להשוואה הסגנונית בין עמרם לרחבעם, ניתן לקשור באופן דומה בין מערת ואדי הייג'נה ובין מערת אם אל-עאמד הסמוכה לה. הדמיון נובע מקיומם של עמודים בפתח, מצורת סימני החציבה בדפנות וכן מעצם הסמיכות הגאוגרפית של שתי המערות. ההבדל העיקרי הוא במבנה הצר יותר ונטול העמודים של מערת ואדי הייג'נה. היעדר העמודים יכול היה לנבוע משיקול הנדסי בעת החציבה, שהביא לניסיון לחצוב חלל צר דיו, שאינו מחייב קיום עמודים. אפשרות נוספת היא שהעמודים הוסרו בפעולה של "קציר עמודים" לצורך מקסום חומר הגלם בסיום החציבה. העמודים ששרדו במרחב הפתח מעידים על תכנון ועל כרייה מאורגנת בצורה של אולם עם עמודים. לפיכך הסרתם כבר בתקופה הרומית או בתקופות מאוחרות יותר הובילה לקריסת הנראות כיום בחלל. צידו הצפוני של המכרה, זה שבסמוך לפתח המשני, הוא בעל מבנה של גלריות צרות, ומעיד אולי על חציבתו בתקופה אחרת שיתכן כי בה נקצרו העמודים.

לעומת ההשוואות המוצגות עבור אתר נחל רחבעם ועבור מערת ואדי הייג'נה, קשה יותר לקבוע את תקופת הפעילות במערת הע'ולה ובמכרה שבואדי א-סדרה. בשני האתרים נמצאים מכרות בעלי מאפיינים ייחודיים, שאינם דומים לדגם מכרות מוכר ומתוארך. עם זאת ניתן בהחלט לשלול את דמיונם לחללי הכרייה שבבקעות הגדולות לצד הערבה. אין מדובר בכרייה המזכירה את אתרי הצלחות, את הפירים האנכיים שבאבן החול או את הגלריות האופקיות בעלות המבנה דמוי הרשת. מבחינת שיטת הכרייה, ברור שהכורים לא התחקו אחר עורקים בודדים אלא חצבו באופן מסיבי את כלל מסת הסלע. מבחינה זו צמד המכרות האלה מזכיר במידת מה את מכרות העמודים. זאת אף שמכרות העמודים מאופיינים במבנה של אולמות נרחבים הנתמכים בעמודים רבים. הכורים אינם ממוקדים במעקב אחר עורקי הבצר, אלא חוצבים נפחים גדולים משכבת המטרה, וזאת בהתאם למופע הפזור של הבצר המאפיין את יחידות הסלע שבהן נחצבו אותם מכרות.

מי שהבחין בייחודיות מכרות העמודים הוא זאב משל (Meshel, 2006), אשר עמד על כך שמדובר ב"מכרות מפותחים, בעלי אולמות ועמודים, הנמצאים בגובה ההרים". בהתייחסו לבידוד האתרים, הציע משל לראות במכרות אלה אתרים שנועדו לכריית זהב. ההצעה מתבססת על אזכור באונומסטיקון של אובסביוס, המציע לזהות את האתר המקראי "די זהב" עם "מכרות הזהב שליד פינאן", וכן על זהב שהתגלה באזור אבו ח'שייבה במהלך העשורים האחרונים (Abu Laila, 2002; Al-Hwaiti et al., 2010; Bullen et al., 1996).

הזהב באזור אבו ח'שייבה נמצא בסלעים מגמטיים מגיל פרה-קמבריום, ועד כה לא דווח על זהב באבני החול באזור. ריכוז של עד 40 ppm זהב באבני חול בערבה נמצא בתמנע (Segev et al., 1990). נראה כי אין לקשור בין הנוכחות של זהב בתמנע לבין האפשרות להימצאותו באבני החול של תצורת אבו ח'שייבה. מקום נוסף בערבה

אופנים. אפשר שחומר הגלם הובל מרחוק עד למרכזי ההפקה הגדולים שלאורך הערבה, שם הוא נמסר לאנשי המקצוע שהכירו את תהליך הפקת הנחושת. בתמורה לחומר הגלם קיבלו הכורים חלק מתוצרי ההפקה, כפי שמתרחש למשל במסירת שמן זית ממסיק ביתי לבית בד מרכזי. באופן זה הובלת חומר הגלם לא הצריכה סלילה של דרך, אלא התאפשרה באמצעות שימוש בבהמות משא ובנתיבים מדבריים צנועים. אפשרות נוספת היא שהקבוצות השונות, אלה שעסקו בכריית המכרות המבודדים, היו קבוצות שוליים שעסקו באופן עצמאי גם בהפקת הנחושת, במנותק מהמתרחש במרכזי ההפקה הגדולים. המיקום המבודד הבטיח התחמקות מבעלי השליטה בייצור המרכזי, שסביר להניח שניסו לקיים מונופול על ניצול משאב הטבע הנדיר. במקרה כזה ההפקה נעשתה ללא תלות במומחים אשר ודאי פעלו במרכזי ההפקה הגדולים – דבר שחייב שימוש בטכנולוגיות התכה פשוטות וייצור בקנה מידה קטן. תעשייה כזו צפויה להותיר אחריה אתרי הפקה בהיקף קטן, עם שרידים המעידים על הפקה בטכנולוגיה ירודה באופן יחסי לתקופה. במחקר רחב היקף של תיארוך מגנטי ישיר של סיגים בערבה נמצאה עדות לכך, שבד בבד עם שימוש בטכנולוגיות מתקדמות היו קבוצות שוליים שעסקו בהפקה בשיטות פשוטות, ככל הנראה מהיעדר גישה לידע הטכנולוגי המתקדם בן זמנן (Ben-Yosef et al., 2008). מקרה בולט של התופעה נמצא באתר F2 בבקעת תמנע, אתר הנחשב לעדות הקדומה בעולם להתכה. שם נמצאו סיגים ברמה טכנולוגית "ירודה", ולכן נחשבו בעבר לשרידי תעשייה מהתקופה הניאוליתית. אלא שמאפייני המיגנוט שלהם הראו שהם דווקא מאוחרים יותר, ושייכים לפעילות מתקופת הברזל. זאת ללמדנו שהרמה הטכנולוגית אינה נמצאת בהכרח בפיתוח חד-קווי (unilinear) על ציר הזמן (Ben-Yosef et al., 2010).

הפקת נחושת באופן עצמאי מסבירה גם את היעדר הזיקה הישירה בין האתרים המבודדים ובין מרכזי התעשייה, זיקה שנמצאה במכרות העמודים. בשונה מההפקה התעשייתית, הפקה עצמאית ובשיטות פשוטות יכולה להתרחש על גבעה או בערוץ נחל "אי שם בהרים". ידוע על מכרות מבודדים נוספים בנקודות שונות בהרים משני צידי הערבה, אך אלו לא התפתחו לכדי אתר חציבה של ממש, והסתכמו בכרייה רדודה של נישות קצרות. היקף כרייה מוגבל כל כך יכול להתאים לחציבה לצורך "בדיקת היתכנות" (פרוספקציה) טרם כרייה במקום.

תודות

תודתנו לידידינו ולשותפינו הרבים שסייעו בעבודת השדה בשטח ובעיבוד המידע שהובא כאן. בראש ובראשונה נרצה להודות לעוזי אבנר על הליווי בשדה ועל השיתוף בידע הרחב שלו על חקר תעשיית הנחושת בערבה. תודתנו מסורה גם לאנשים אלה: מיקה אולמן, דניאל אורן, ליאור אנמר, ולדמיר בוסלוב, איבו בוריסוב, חיים בן-דוד, עטר בש, אמיר גינת, חנן גינת, אוהד גרוס, מרינה גרין, עמרי יגל, אפרים כהן, סורין ליסקר, שי לנגפורד, תום נבט, עלי סולימאן הודי, סאלם סלאמה, שלומית פרומקין, רועי צבר, שוקה רווק ורחמים שם-טוב. המחקר נתמך חלקית על ידי הקרן הלאומית למדע, מענק #408/22 לא.ב.י.

שבו מוכרת הימצאות זהב שאף נוצל בעת העתיקה, הוא אתר ואדי טווח'ין שבהרי אילת, בדרום-מערב הערבה (Gilat et al., 1993). כמו בבקעת אבו ח'ושייבה גם באתר זה הזהב מופיע בסלע מגמטי פרה-קמברי. בדיקתן של שתי דוגמאות בצר מסלעי תצורת אבו ח'ושייבה, שנאספו בסמוך למכרה אבו ח'ושייבה, הראתה שריכוזו הנחושת המינימלי בבצר עומד על 14–15wt.% ואילו זהב לא נמצא. אין מדובר בבדיקה שיטתית ומקיפה, אך יש בה כדי לחזק את התובנה הכללית בנושא. בשל כך לדעתנו, על אף מיקומם המבודד של מכרות העמודים, הם נועדו לכריית נחושת ולא לכריית זהב.

האם אכן ניתן לכלול תחת אותה תופעה את מכרות העמודים ואת אתרי מערת הע'ולה ו-וואדי א-סדרה? אומנם שני האתרים נמצאים מחוץ למרכזי הכרייה הגדולים, אך היעדר עמודים של ממש באתרי הע'ולה ו-א-סדרה, ובעיקר מיקומם המרוחק עוד יותר של מכרות העמודים, מלמדים כי בכל זאת אין מדובר באותה התופעה. נראה כי תחת תופעת מכרות העמודים יש לכלול את ארבעת האתרים: אם אל-עאמד, ואדי הייג'נה, אבו ח'ושייבה וג'רף אל-חמר. אתרים אלה פותחו בתקופה הרומית לצד כרייה נרחבת בבקעות הסמוכות למרכז הערבה. כרייה בכמה אתרים במקביל מאפשרת אספקה גבוהה יותר של חומר גלם לאתרי ההפקה, כאשר דרך מיוחדת נפרצה במטרה לחבר בין המכרות המרוחקים ובין אתרי ההפקה: מערת אם אל-עאמד ומערת ואדי הייג'נה – בזיקה לפינאן, ומערת אבו ח'ושייבה ומכרות ג'רף אל-חמר – בזיקה לחורבת סברה (Lindner, 1992, 2003). לא נמצאו דרכים דומות המובילות אל מכרות הע'ולה ו-א-סדרה, הנמצאים במיקום מבודד ומרוחק עוד יותר מזה של מכרות העמודים. על סמך קרבה גאוגרפית ניתן אולי לקשור בין מערת הע'ולה ובין אתרי הפקה בדרום הערבה, כמו חורבת מנעייה (Ben-Yosef, 2012; Jones et al., 2014). לעומת זאת את המכרה בוואדי א-סדרה ניתן לקשור לפעילות ההפקה בפינאן. פעילות ההפקה בחורבת מנעייה תוארכה לתקופה האסאלמית הקדומה. לפיכך ככל שמערת הע'ולה אכן קשורה לאתר זה, הרי הדבר קובע גם את תקופת הפעילות שהתקיימה בה. גם אם מערת ואדי א-סדרה קשורה לפעילות ההפקה בפינאן, בשל ריבוי תקופות הפעילות שם קשה יותר לקבוע את מועד הכרייה. כך או כך, המבנה השונה, היעדר הדרכים והריחוק המשמעותי ממרכזי התעשייה הם מאפיינים בולטים המפרידים בין מכרות העמודים ובין מכרות מבודדים אחרים.

מערת אם אל-עאמד ואבו ח'ושייבה תוארכו לתקופה הרומית, וכך אפשר לקשור את תופעת מערות העמודים לתעשייה מתקופה זו בערבה. המכרות מהונדסים ומתוכננים, כוללים דרך סדורה להובלת חומר הגלם, והם מרכיב בתעשייה שבה לוקחים חלק בעלי תפקידים שונים: כורים בקצה אחד של התהליך, וחרשי מתכת בקצה השני. יתר האתרים המבודדים כנראה אינם קשורים לתעשייה המרכזית. אפשר שהם קשורים לפעילות של קבוצה או של שבט ששלח את ידו בכריית חומר גלם, וניצל בכך את משאבי הטבע הנמצאים בשטחו. אתרים אלה כוללים את מערות הע'ולה ו-א-סדרה, אך גם את הר שחורת שנכלל פה במכרות ה"רנדומליים" ואולי אף את אתר נחל צפונות (איור 4). נחל זה נמצא בצפון בקעת עמרם, והוא מנותק במידת מה מריכוז המכרות שבנחל עמרם. פעילות שוליים כזו, שבה מרבצי נחושת מנוצלים על ידי קבוצה או על ידי שבט מקומי, יכולה הייתה להתרחש בכמה

- Avni, Y., Bartov, Y., Garfunkel, Z., Ginat, H., 2000. Evolution of the Paran drainage basin and its relation to the Pliocene history of the Arava Rift western margin, Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* 49 (4).
- Avni, Y., Bartov, Y., Garfunkel, Z., Ginat, H., 2001. The Arava formation: A Pliocene sequence in the Arava Valley and its western margin, southern Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* 50, 101–120.
- Avni, Y., Segev, A., Ginat, H., 2012. Oligocene regional denudation of the northern Afar dome: Pre-and syn-breakup stages of the Afro-Arabian plate. *Bulletin* 124 (11–12), 1871–1897.
- Bandel, K. Salameh, E., 2013. Geologic development of Jordan: Evolution of its rocks and life. University of Jordan. p. 278.
- Ben-Yosef, E., Tauxe, L., Ron, H., Agnon, A., Avner, U., Najjar, M., Levy, T. E., 2008. A new approach for geomagnetic archaeointensity research: Insights on ancient metallurgy in the Southern Levant. *Journal of Archaeological Science* 35 (11), 2863–2879.
- Ben-Yosef, E., Tauxe, L., Levy, T. E., 2010. Archaeomagnetic dating of copper smelting site F2 in the Timna Valley (Israel) and its implications for the modelling of ancient technological developments. *Archaeometry* 52 (6), 1110–1121.
- Ben-Yosef, E., 2012. Environmental constraints on ancient copper production in the Arava Valley: Implications of the newly discovered site of Khirbet Mana'iyah in southern Jordan. *Tel Aviv* 39 (2), 58–74.
- Ben-Yosef, E., 2018. The Central Timna Valley Project: Research design and preliminary results. In: Ben-Yosef, E. (Ed.), *Mining for ancient copper: Essays in memory of Beno Rothenberg*. Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph 37. pp. 28–63.
- Ben-Yosef, E., Levy, T. E., Najjar, M., 2009. New iron age copper-mine fields discovered in southern Jordan. *Near Eastern Archaeology* 72 (2), 98–101.
- Ben-Yosef, E., Najjar, M., Levy, T. E., 2014a. New Iron Age excavations at copper production sites, mines, and fortresses in Faynan. *New Insights into the Iron Age Archaeology of Edom, Southern Jordan* 2, 767–885.
- Ben-Yosef, E., Najjar, M., Levy, T. E., 2014b. Local Iron Age trade routes in Northern Edom: From the Faynan copper ore district to the highlands. *New Insights into the Iron Age Archaeology of Edom, Southern Jordan* 2, 493–576.
- אבנר, ע', נאור, א', 1978. סקר באזור אילת. חדשות ארכיאולוגיות 66–67, 66–68.
- בייט, מ', קלבו, ר', 2015. אזור אילת כבית ספר שדה לגיאולוגיה. דו"ח מס' GSI/10/2015. המכון הגיאולוגי. ירושלים.
- ברסלבי, י', 1952. הידעת את הארץ 5.
- כהן, ע', 1976. תעלומת ה"צלחות" בבקעת תמנע. ארץ וטבע 19, 17–15.
- רותנברג, ב', 1967. אתרים ארכיאולוגיים בערבה הדרומית ובהרי אילת. בתוך: רון, צ' (עורך), סקר הרי אילת. הוצאת המועצה האזורית חבל אילות. עמ' 283–331.
- ריבקין, א', גינת, ח', אבני, י', 2014. גאולוגיה והתפתחות הנוף בערבה הצפונית. מחקרי הנגב, ים המלח והערבה 6 (2), 43–58.
- שמידע, א', רווק, ש', 2000. אל קניוני אדום ומואב. הוצאת טבע הדברים.
- Abu Laila, H., Al-Saudi, A., 2002. Geochemical prospecting for gold in Wadi Abu Kusheiba (1996–2001). Hashemite Kingdom of Jordan, National Resources Authority, National Mapping Division, Bulletin.
- Al-Hwaiti, M., Zoheir, B., Lehmann, B., Rabba, I., 2010. Epithermal gold mineralization at Wadi Abu Khushayba, southwestern Jordan. *Ore Geology Reviews* 38 (1), 101–112.
- Arav, R., Filin, S., Avner, U., 2018. Volume and mass estimation of mine dumps and slag piles using high-resolution terrestrial laser scans. In: Ben-Yosef, E. (Ed.), *Mining for ancient copper: Essays in memory of Beno Rothenberg*. Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph 37. pp. 178–187.
- Avner, U., Magness, J., 1998. Early Islamic settlement in the southern Negev. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 310 (1), 39–57.
- Avner, U., 2002. Studies in the material and spiritual culture of the Negev and Sinai populations, during the 6th–3rd Millennia BC. Hebrew University of Jerusalem.
- Avner, U., Ginat, H., Shalev, S., Shilstine, S., Langford, B., Frumkin, A., Shem-Tov, R., Filin, S., Arav, R., Basson, U., Shamir, O., Scott-Cumming, L., 2018. Ancient copper mines at Nahal 'Amram, Southern Arabah. In: Ben-Yosef, E. (Ed.), *Mining for ancient copper: Essays in memory of Beno Rothenberg*. Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph 37. pp. 147–177.

מקורות

- Ben-Yosef, E., Shaar, R., Tauxe, L., Ron, H., 2012. A new chronological framework for Iron Age copper production at Timna (Israel). *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 367 (1), 31–71.
- Beyth, M., Segev, A., Ginat, H., 2013. Stratigraphy and structure of the Timna Valley and adjacent ancient mining areas. *Geological Survey of Israel Report GSI/15/2013*, 29.
- Bullen, W., Nimry, F., Okour, M., Abu Laila, H., Al-Saudi, A., 1996. Primary and secondary gold mineralization in Wadi Abu Khushayba, southern Jordan. *Natural Resources Authority and Rand Gold Exploration, South Africa*.
- Dasher, G. R., 1994. *On station: Huntsville*. Alabama National Speleological Society.
- Drenka, A., 2003. New excavations in the chalcolithic mine T of Timna. Preliminary report of the excavations March–May 2001. *Institute for Archaeo-Metallurgical Studies Newsletter* 23, pp. 21–26.
- Elisha, B., Katzir, Y., Kylander-Clark, A., 2017. Ediacaran (- 620Ma) high-grade regional metamorphism in the northern Arabian Nubian Shield: U-Th-Pb monazite ages of the Elat schist. *Precambrian Research* 295, 172–186.
- Frank, F., 1934. Aus der 'Araba. I. Reiseberichte. *Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins* (1878–1945), (H. 3/4), 191–280.
- Garfunkel, Z., Ben-Avraham, Z., 1996. The structure of the Dead Sea basin. *Tectonophysics* 266 (1), 155–176.
- Garfunkel, Z., Zak, I., Freund, R., 1981. Active faulting in the Dead Sea rift. *Tectonophysics* 80 (1-4), 1–26.
- Gilat, A., Shirav, M., Bogoch, R., Halicz, L., Avner, U., Nahlieli, D., 1993. Significance of gold exploitation in the early Islamic period, Israel. *Journal of archaeological science* 20 (4), 429–437.
- Ginat, H., Meeshly, D., Avner, U., Langford, B., 2018. Evidence of Past Flood Intensities in the Nahal 'Amram Copper Mines. In: Ben-Yosef, E. (Ed.), *Mining for ancient copper, Essays in Memory of Beno Rothenberg*. Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph 37. pp. 188–198.
- Glueck, N., 1934. Explorations in Eastern Palestine, II. *Annual of the American Schools of Oriental Research* 15.
- Glueck, N., 1935. Exploration in Eastern Palestine, II. *AASOR XV* for 1934–5.
- Glueck, N., 1945. *The other side of the Jordan*. New Haven: American Schools of Oriental Research 1945, pp. 55–72, 77–81.
- Glueck, N., 1953. *Exploration in Western Palestine*. *BASOR* 131, 6–15.
- Glueck, N., 1960. *Archaeological Exploration of the Negev in 1959*. *BASOR* 159, 3–14.
- Hauptmann, A. (Ed.), 2007. *The archaeometallurgy of copper: Evidence from Faynan, Jordan*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hauptmann, A., 2000. *Zur frühen Metallurgie des Kupfers in Fenan, Jordanien: Der Anschnitt: Beiheft*.
- Haviv, I., 2000. *Trekking and canyoning in the Jordanian Dead Sea rift*. Desert Breeze Press.
- Horsfield, G., Conway, A., 1930. Historical and topographical notes on Edom: With an account of the first excavations at Petra. *The Geographical Journal* 76 (5), 369–388.
- Jacobson, D. M., 2017. *Mapping Jordan through two millennia*. Routledge.
- Jarrar, G. H., Theye, T., Yaseen, N., Whitehouse, M., Pease, V., Passchier, C., 2013. Geochemistry and P–T–t evolution of the Abu-Barqa Metamorphic Suite, SW Jordan, and implications for the tectonics of the northern Arabian-Nubian Shield. *Precambrian Research* 239, 56–78.
- Joffe, S., Garfunkel, Z., 1987. Plate kinematics of the circum Red Sea: A re-evaluation. *Tectonophysics* 141 (1–3), 5–22.
- Jones, I. W., Ben-Yosef, E., Lorentzen, B., Najjar, M., Levy, T. E., 2017. Khirbat al-Mana'iyya: An early Islamic-period copper-smelting site in south-eastern Wadi 'Araba, Jordan. *Arabian Archaeology and Epigraphy* 28 (2), 297–314.
- Kind, H. D., 1965. Antike Kupfergewinnung zwischen Rotem und Totem Meer. *Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins* (1953), (H. 1), 56–73.
- Kind, H. D., 1965. Antike Kupfergewinnung zwischen Rotem und Totem Meer. *Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins* (1953), (H. 1), 56–73.
- Kolodner, K., Avigad, D., McWilliams, M., Wooden, J. L., Weissbrod, T., Feinsein, S., 2006. Provenance of north Gondwana Cambrian-Ordovician sandstone: U–Pb SHRIMP dating of detrital zircons from Israel and Jordan. *Geological Magazine* 143 (3), 367–391.

- Langford, B., Frumkin, A., Avner, U., Ginat, H., 2018. Nahal 'Amram, southern Arabah valley: A survey of underground copper mines. In: Ben-Yosef, E. (Ed.), *Mining for ancient copper: Essays in memory of Beno Rothenberg*. Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph 37. pp. 217–227.
- Levy, T. E., Najjar, M., Ben-Yosef, E., 2014. New insights into the Iron Age archaeology of Edom, southern Jordan.
- Lindner, M., 1992. Survey of Šabra (Jordan) 1990: Preliminary report. *Annual of the Department of Antiquities of Jordan* 36, 193–216.
- Lindner, M., 2003. Über Petra hinaus: Archäologische Erkundungen im südlichen Jordanien, 59–63.
- Meshel, Z., 2006. Were there gold mines in the eastern Arabah. *Crossing the Rift: Resources, Routes, Settlement Patterns and Interaction in the Wadi Arabah*. Oxbow Books. Oxford. pp. 231–238.
- Muhly, J. D., 2018. Beno Rothenberg and the chronology of copper smelting at Timna. In: Ben-Yosef, E. (Ed.), *Mining for ancient copper: Essays in memory of Beno Rothenberg*. Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph 37. pp. 21–27.
- Musil, A., 1907. *Arabia Petraea* (3 Vols.) Wien: [reprint. 1989] Hildesheim: G. Olms.
- Petherick, J., 1861. *Egypt: The Soudan and central Afrika*. Edinburgh and London.
- Powell, J. H., Abed, A. M., Nindre, L., 2014. Cambrian stratigraphy of Jordan. *GeoArabia-Middle East Petroleum Geosciences* 19 (3), 81–134.
- Richter, A. M., Kuester, F., Levy, T. E., Najjar, M., 2012, September. Terrestrial laser scanning (LiDAR) as a means of digital documentation in rescue archaeology: Two examples from the Faynan of Jordan. In: *18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*. pp. 521–524.
- Rothenberg, B. 1963. Ancient copper industries in the Western 'Arabah. *Palestine Exploration Fund Quarterly* 9, 5–64.
- Rothenberg, B. 1999. *Archaeo-Metallurgical Researches in the Southern 'Arabah 1959–1990. Part 2: Egyptian new kingdom (Ramesside) to Early Islam*. P EQ 131, 68–89.
- Rothenberg, B., 2005. Explorations and excavations in the mines of the Timna Valley (Israel): Paleomorphology as Key to Major Problems in Mining Research. *Glasnik Srpskog arheološkog društva* 22, 133–48.
- Sadeh, M., Hamiel, Y., Ziv, A., Bock, Y., Fang, P., Wdowinski, S., 2012. Crustal deformation along the Dead Sea Transform and the Carmel Fault inferred from 12 years of GPS measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 117, B08410.
- Segev, A., 1984. Lithostratigraphy and paleogeography of the marine Cambrian sequence in southern Israel and southwestern Jordan. *Israel Journal of Earth Sciences* 33, 26–33.
- Segev, A., 2016. Major unconformities in the stratigraphic succession in the Timna-Eilat region and their relation to copper and manganese mineralization cycles. *Israel geological society. Elat Field trips guide*. pp. 154–188.
- Segev, A., Shirav (Schwartz), M., Halicz, I., 1990. Prospection for gold in the Timna Valley. Report GSI/49/1990.
- Shaw, T., Drenka, A., 2018. The Sinai-Arabah Copper Age Early Phase (Chalcolithic) Mine T Excavations. In: Ben-Yosef, E. (Ed.), *Mining for ancient copper: Essays in Memory of Beno Rothenberg*. Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph 37. pp. 81–108.
- Shlomovitch, N., Bar-Matthews, M., Matthews, A., 1999. Sedimentary and epigenetic copper mineral assemblages in the Cambrian Timna Formation, southern Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* 48 (140), 195–208.
- Sneh, A., Bartov, Y., Weissbrod, T., Rosensaft, M., 1998. *Geological Map of Israel, 1:200,000*. Israel Geological Survey. (4 sheets).
- Šupinský, J., Kaňuk, J., Nováková, M., Hochmuth, Z., 2022. LiDAR point clouds processing for large-scale cave mapping: A case study of the Majko dome in the Domica cave. *Journal of Maps*, 1–8.
- Wdowinski, S., Zilberman, E., 1996. Kinematic modelling of large-scale structural asymmetry across the Dead Sea Rift. *Tectonophysics* 266 (1–4), 187–201.
- Wechsler, N., Shustak, M., Ben-Yosef, E., 2020. Diffraction stack imaging as a potential tool for detecting underground voids: The case of the ancient copper mines of Timna Valley (Israel). *Archaeological Prospection* 27 (1), 27–37.
- Weinstein, Y., Garfunkel, Z., 2014. The Dead Sea transform and the volcanism in northwestern Arabia. In *Dead Sea Transform Fault System: Reviews*. Springer. Dordrecht. pp. 91–108.
- Weisgerber, G., 2006. The mineral wealth of ancient Arabia and its use I: Copper mining and smelting at Feinan and Timna – comparison and evaluation of techniques, production, and strategies. *Arabian Archaeology and Epigraphy* 17 (1), s1–30.

- Weissbrod, T., Sneh, A., 2002. Sedimentology and paleogeography of the late Precambrian-early Cambrian arkosic and conglomeratic facies in the northern margins of the Arabo-Nubian Shield, Vol. 87. Geological Survey of Israel. Jerusalem. p. 44.
- Willies, L., 1991. Ancient copper mining at Wadi 'Amram, Israel: An archaeological survey. Bulletin of the Peak District Mines Historical Society 11 (3), 109–131.
- Zilberman, E., Calvo, R., 2013. Remnants of Miocene fluvial sediments in the Negev Desert, Israel, and the Jordanian Plateau: Evidence for an extensive subsiding basin in the northwestern margins of the Arabian plate. Journal of African Earth Sciences 82, 33–53.