כלי המתכת מח׳ירבת אל־עמדאן, בית שמש: תובנות חדשות על המטלורגיה הע׳סולית[1]

יצחק ווסל, אדווין ואן דן ברינק וארז בן יוסף

הקדמה

המחקר השיטתי של תעשיית המתכת של התרבות הע׳סולית, המחצית השנייה של האלף הה׳ לפסה״נ, החל בעקבות גילוי המטמון בנחל משמר (Bar-Adon 1980) בשנות ה־60 של המאה הכ׳. אז הוברר שתעשייה זו מיוחדת במינה, הן בהיקף הרחב של הממצאים באתרים השונים הן בטכנולוגיות המתקדמות להפקת מתכת ולייצור הכלים, ובהן השימוש בטכניקת ׳השעווה האבודה׳.

מחקר זה מתמקד במכלול של שישה כלי מתכת (איור 1): ארבעה גרזנים, גוש נחושת וראש אלה שבור. שלושה מהגרזנים ושבר ראש האלה נבדקו כימית, והתוצאות הניבו תובנות חדשות לגבי פעילותם של חרשי המתכת הקדומים, תכונות החומרים שבהם השתמשו והיקף קשרי המסחר שניהלו בתקופה הכלקוליתית. הרכבם הכימי של הגרזנים דומה לזה של כלים אחרים בני התקופה, ואילו הרכבו הכימי של ראש האלה הוא סגסוגת נחושת־עופרת, שלא הייתה ידועה עד כה בתקופה הכלקוליתית. להלן ננסה להאיר באור חדש את ייחודה ואת מורכבותה של תעשיית המתכת היוקרתית של התרבות הע׳סולית.

האתר והקשרו המטלורגי

תיארוך האתר

מקורם של חפצי המתכת שבבסיס המחקר סמוך לח׳ירבת אל־עמדאן שבתחומי בית שמש (ר׳ בארי, כרך זה).[2] זמנו של האתר נקבע על סמך בדיקות פחמן־14 שנערכו על ארבע דגימות של חרצני זיתים (ר׳ בוארטו, בתוך בארי, כרך זה) למחצית השנייה של האלף הה׳ לפסה״נ. עם זאת, לא ניתן לקבוע אם הממצא המטלורגי הוא מתחילת התקופה או מסופה.

לדעת גלעד (Gilead 2011), תעשיית המתכת בתקופה הכלקוליתית מאפיינת את סוף התרבות הע׳סולית, ולכן אפשר שחפצי הנחושת הם מסוף התקופה הכלקוליתית המאוחרת (4300–4000 לפסה״נ). תיארוך זה

---

[1] המאמר מבוסס על Ben-Yosef et al. 2016.

[2] תודות לד״ר רון בארי על היוזמה לשיתוף פעולה בניתוח ממצאי המתכת מהחפירה. אנו מודים לד״ר צבי גרינהוט, לגב׳ אלישבע קמייסקי וצוות המעבדה לשימור על העזרה בטיפול בממצא. ברצוננו להודות גם לד״ר דנה אשכנזי, פרופ׳ יובל גורן וד״ר זהבה ברקאי על עזרתם. המחקר בוצע בתמיכה חלקית (מענק מס׳ 334274) שקיבל א׳ בן יוסף מקרן Marie Curie FP7-PEOPLE-2012-CIG.

איור 1. חפצי המתכת.

מס׳	החפץ	לוקוס	סל	מידות (ס״מ)
1	גרזן	103	1029	אורך 12.5, רוחב 4, עובי 1.8
2	גרזן	103	1006	אורך 17, רוחב 4, עובי 1.1
3	גרזן	103	1016	אורך 6, רוחב 2, עובי 0.8
4	גרזן (שבר)	114	1071	
5	ראש אלה (שבר)	114	1031	אורך 3.5, רוחב 2.5, עובי 1.1, משקל 36.7 גרם

נתמך בתוצאות הבדיקות הרדיומטריות שהניבו לוקוסים 102, 105 ו־111, וגם מהשוואת החפצים לחפץ העופרת שהתגלה במערת אשלים (Yahalom-Mack et al. 2015).

עד כה, חפצי המתכת מהתקופה הכלקוליתית נמצאו בדרום הארץ, באזור ים המלח, ומיעוטם נמצא באזור ההר והשפלה (Gale 1991:42; Rowan and Golden 2009). מכאן, שהימצאות כלי המתכת באזור בית שמש מצביעה על קשרי מסחר עם האתרים המרכזיים של התרבות הע׳סולית, כפי שגם עולה מממצאים אחרים באתר (ר׳ בארי, כרך זה).

הקשר וטיפולוגיה

חמישה מתוך ששת חפצי המתכת נמצאו בהקשר מוגדר היטב של רצפות (איור 1: 1–5; ר׳ בארי, כרך זה). החפץ השישי, גוש עופרת קטן (B1032; קוטר 3.5; לא אויר), נמצא על פני השטח שלא באתרו, ועל כן אינו נידון כאן.

גרזנים מס׳ 1–3 נמצאו בהטמנה על רצפה 103, והם שייכים לקבוצת הכלים הפשוטים (simple blades) המאפיינים את התקופה הכלקוליתית (Miron 1992:7–8). לשבר ראש אלה מס׳ 5 צורה אגסית, שהיא אחת משתי הצורות המאפיינות את ראשי האלה בתקופה הכלקוליתית, אם כי החפץ מעט קטן מהממוצע (Bar-Adon 1980:116–131; Sebbane 2016). שני מאפיינים אלו הם, כנראה פועל יוצא של עבודה עם חומר שונה.

חפצי הנחושת דומים בצורתם ובמידותיהם לכלים שנמצאו באתרי קבורה ומגורים מהתקופה הכלקוליתית המאוחרת מהנגב עד הגליל: שקמים (Shalev and Northover 1987: Pl. 14.3:1), מערת המטמון (Bar-Adon 1980:113, No. 166; 115, Nos. 172 and 175), מערה VIII/28 במדבר יהודה (Segal and Kamenski 2002:158, Fig. 1:1), מודיעין מתחם בוכמן (Shalev and Shilstein, in press: Fig. 11:1–3), נחל קנה (Gopher and Tsuk 1996:115, Fig. 4.22:2), גבעת האורנים (Namdar et al. 2004:70, Fig. 5.1:6–10), עין אסור (Shalev 2006:263, Fig. 8.1) ופקיעין (Shalem, Gal and Smithline 2013:335, Fig. 9.4, Nos. 9, 10).

תוצאות הבדיקות

גרזנים מס׳ 1–3 ושבר ראש אלה מס׳ 5 נבדקו כימית ואופטית במיקרוסקופ האלקטרונים הסביבתי (E-SEM, דגם Quanta 200) במרכז וולפסון באוניברסיטת תל אביב. הכלים נבדקו לאחר פעולות ניקוי ושימור במעבדות רשות העתיקות, שכללו שטיפה במים ואצטון וציפוי בפולימר אקריליקי B-72, הנפוץ בשימור כלי חרס וזכוכית (Constâncio et al. 2010) וכלי מתכת (Kiele et al. 2014). תחילה נעשו הבדיקות עם ציפוי B-72, שהרכבו ידוע, כדי להבין את השפעת החומר המשמר על ניתוח כלי המתכת. לאחר מכן הוסר הציפוי מגרזן מס׳ 3 ומשבר ראש אלה מס׳ 5 בעזרת אצטון, והכלי שויף כדי לדגום את חלקו הפנימי (להלן).

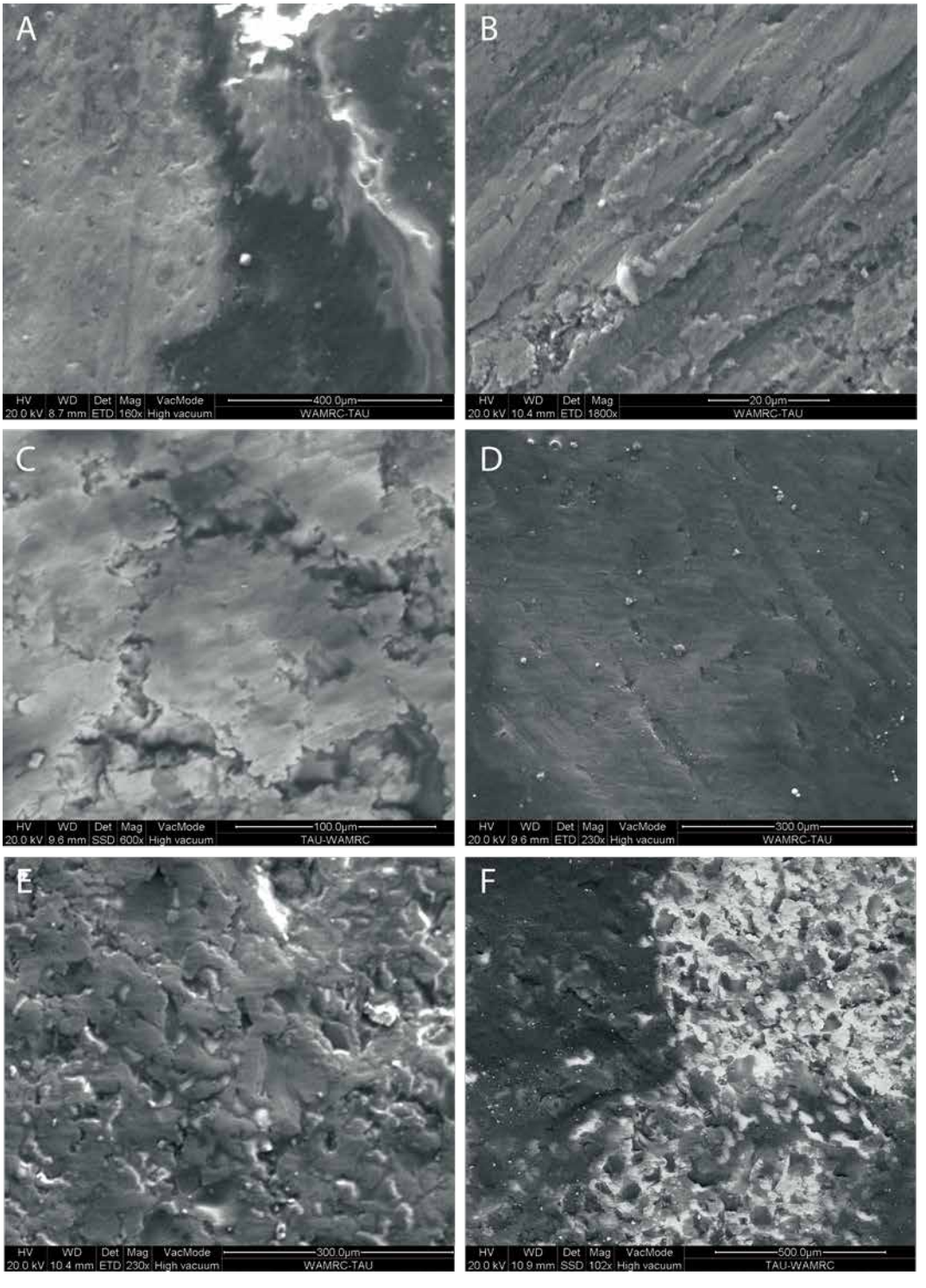
תוצאות הבדיקות (טבלה 1) מראות כי הגרזנים עשויים מנחושת טהורה, וכי ראש האלה מורכב מסגסוגת של נחושת ועופרת, שעד כה לא נתגלתה כמוה באף ממצא מטלורגי מן התקופה הכלקוליתית בדרום הלבנט. כמו כן, ניתן לראות שהציפוי קשה מאוד להסרה, וכי היסודות המשויכים אליו (C ,O) ממשיכים להופיע גם לאחר הסרתו באצטון, ואף לאחר שיוף. ניתן גם לראות הצטברויות של חומר הציפוי בנקודות כהות על הכלים שבהם קריאת הפחמן גבוהה מאוד (איור 2; למשל דגימה 1-1016).

בשבר ראש האלה (מס׳ 5) נצפו מאפיינים של סגסוגת עופרת־נחושת, ובה אינקלוזיות של עופרת בריכוז של למעלה מ־70% בתוך הנחושת (איורים 3, 4; Scott 2011:174). הדבר נובע מכך שעופרת ונחושת אינם מתערבבים, וההפרש בין טמפרטורות הקירור שלהם מביא ליצירת נחושת מוצקה ובתוכה עופרת נוזלית, שכאשר היא מתקררת היא מתקבעת כאינקלוזיות. בעזרת מיפוי יסודות המתכת ב־Energy dot (E-SEM mapping; איור 5) ניתן לראות את התפלגות העופרת והנחושת ויזואלית. הטקסטורה המתקבלת שבירה יחסית לנחושת רגילה, שכן הימצאות נקודות העופרת בתוך הנחושת פוגעת בשלמותה (Scott 2011:174),

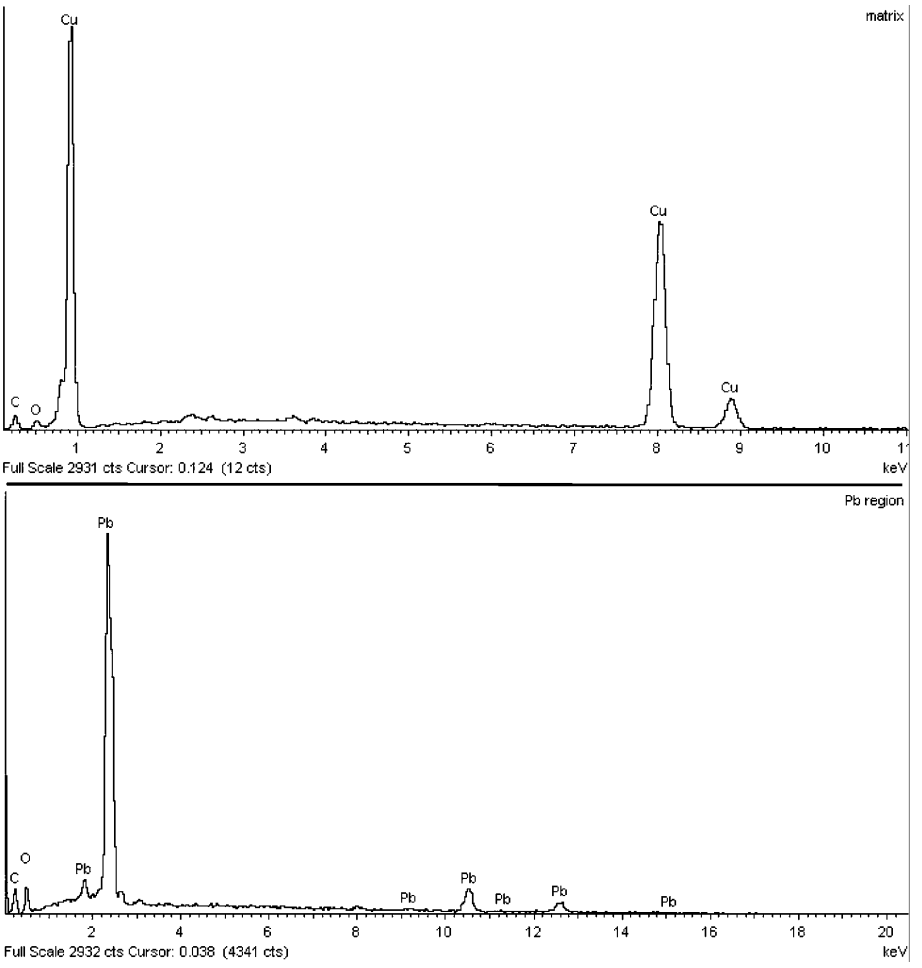
טבלה 1. ההרכב הכימי של חפצי המתכת

Table 1. Chemical Composition of the Metal Artifacts

דגימה מס׳ Sample No.	ציפוי Coating (Paraloid)	כמות החומר Element Concentration (wt. %)							החפץ Object
		Cu	Pb	Ni	Cl	C	O	Si	
גרזן Axe (B1029)									
1029-1	+	1.11 ± 55.13	-	-	-	1.15 ± 38.06	0.51 ± 6.09	0.14 ± 0.71	
1029-2	+	1.16 ± 68.55	-	-	-	1.22 ± 16.52	0.57 ± 9.18	0.29 ± 5.75	
גרזן Axe (B1006)									
1006-1	+	0.86 ± 81.93	-	-	-	-	0.76 ± 10.33	0.50 ± 7.74	
1006-2	+	0.95 ± 46.01	-	-	-	1.04 ± 42.96	0.56 ± 8.66	0.17 ± 2.38	
1006-3	+	0.91 ± 13.22	-	-	-	1.41 ± 68.6	1.32 ± 17.15	0.19 ± 1.03	
גרזן Axe (B1016)									
1016-1	+	0.77 ± 10.11				1.25 ± 75.3	1.13 ± 9.71	0.29 ± 4.88	Dark area 1
1016-2	+	0.68 ± 7.36				1.31 ± 69.52	1.28 ± 21.44	0.20 ± 1.68	Dark area 2
1016-3	+	1.16 ± 54.91				1.21 ± 36.26	0.61 ± 7.64	0.17 ± 1.18	Bright area 1
1016-4	+	0.84 ± 30.92				0.99 ± 54.1	0.66 ± 10.49	0.22 ± 4.48	Bright area 2
1016-5	+	0.83 ± 41.94		0.21 ± 0.70		0.91 ± 47.17	0.49 ± 7.22	0.16 ± 2.98	Sharpened (“working”) area 1
1016-6	+	0.90 ± 46.25		0.22 ± 0.78		0.98 ± 43.51	0.43 ± 5.38	0.19 ± 4.08	Sharpened (“working”) area 2
1016-7	-	0.76 ± 89.15			0.10 ± 0.33	0.74 ± 5.67	0.25 ± 0.30	0.15 ± 1.84	
ראש אלה Mace head (B1031)									
1031-1	+	0.86 ± 86.87	0.42 ± 1.86			0.74 ± 7.84	0.27 ± 1.99		
1031-2	+	0.86 ± 81.33				0.70 ± 0.50	0.36 ± 5.18	0.16 ± 1.18	
1031-3	+	0.87 ± 17.44	0.64 ± 6.13			2.81 ± 18.73	1.38 ± 31.37	0.69 ± 16.14	
1031-4	-	0.66 ± 45.14	0.67 ± 39.81		0.21 ± 5.24	0.69 ± 5.18	0.36 ± 3.64		Inside Pb-inclusion area 1
1031-5	-	0.85 ± 79.55	0.51 ± 8.50		0.13 ± 0.79	0.72 ± 4.7	0.32 ± 4.69	0.13 ± 0.82	
1031-6	-	0.48 ± 8.67	1.02 ± 64.12		± 13.28 0.43	0.97 ± 8.08	0.56 ± 3.49		Inside Pb-inclusion area 2
1031-7	(polished)	0.46 ± 2.8	1.15 ± 77.38		0.41 ± 5.66	1.01 ± 8.19	0.64 ± 5.97		Inside Pb-inclusion – after polishing
1031-8	- (polished)	0.83 ± 96.57				0.83 ± 3.43			Matrix after polishing
1031-9	- (polished)	1.00 ± 89.16				0.98 ± 9.42	0.28 ± 1.42		Matrix after polishing
1031-10	- (polished)		1.05 ± 78.03			0.89 ± 11.65	0.76 ± 10.32		Inside Pb-inclusion – after polishing
1031-11	- (polished)	2.60 ± 72.61				2.59 ± 10.13	1.63 ± 17.26		Oxidized spot? – after polishing



איור 2. תצלום E-SEM: (A) גרזן 1006 ; (B) גרזן 1029 ; (C–F) גרזן 1029—C ו־D הקצה המחודד של הגרזן.

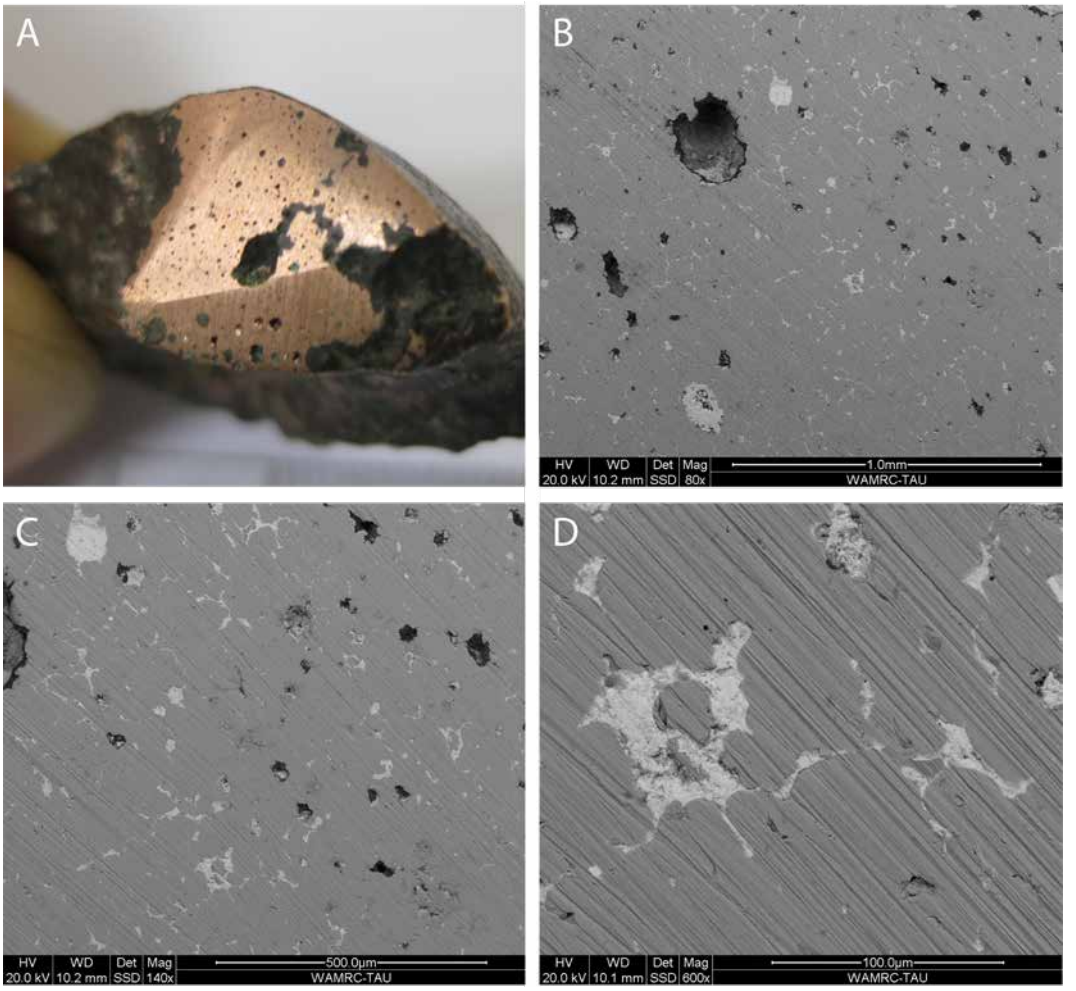


איור 3. עקומת אנליזת EDS של שתי קריאות בשבר ראש האלה: העליונה במטריקס הנחושת, והתחתונה בתוך אינקלוזיה של עופרת.

וזה מה שגרם כנראה לשבירת ראש האלה. כיוון שהעופרת מופיעה בעיקר כאינקלוזיות, קשה להעריך את כמותה הממוצעת בחומר. עם זאת, כיוון שהתפזרות האינקלוזיות מתועדת בשטח רחב למדי, נראה שהיא מהווה כ־10%.

דיון

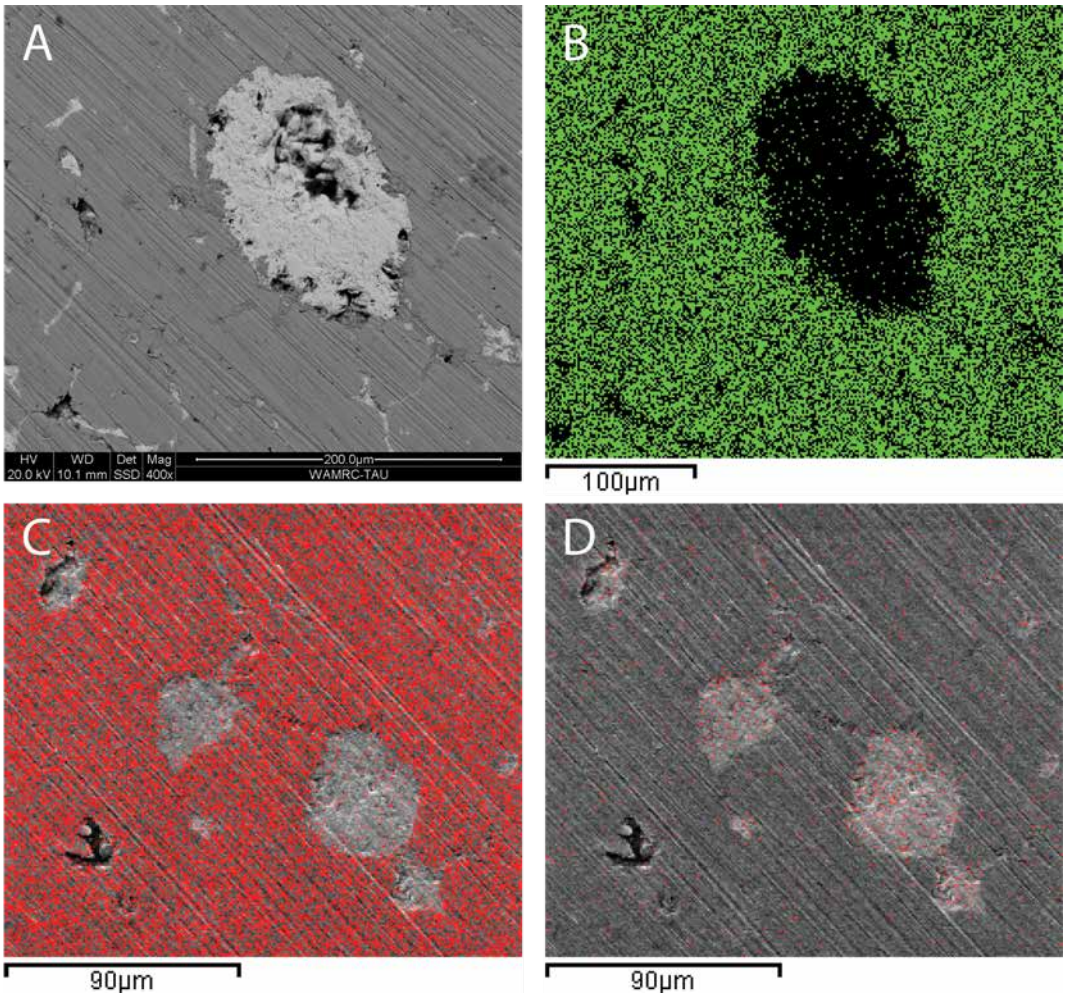
כלי הנחושת מהתקופה הכלקוליתית נחלקים לשתי קבוצות על פי טכניקת הייצור וטיפוסי הכלים: כלים פשוטים (שימושיים), העשויים מנחושת טהורה; וכלי יוקרה, העשויים סגסוגת של נחושת, אנטימון וארסן, ולעתים ניקל (Golden, Levy and Hauptmann 2001; Rowan and Golden 2009). הכלים הפשוטים נוצקו בתבנית ולאחר מכן עברו חישול קר שהקנה להם את צורתם הסופית (Hauptmann 2007:291). בקבוצה זו נכללים גרזנים, כילפות, מרצעים ואזמלים. כלים אלה נפוצים בדרום הלבנט ומהווים את רוב רובו של הממצא המטלורגי, למעט המטמון ממערת נחל משמר (Shugar and Gohm 2010: Table 10.1). הם נעשו בטכניקת



איור 4. שבר ראש האלה 1031: (A) תקריב של שטח השיוף בראש האלה (השיוף נעשה בחלק השבור, לאורך ראש האלה); (D–B) הגדלות E-SEM מתוך השטח המשויף — שימו לב לעופרת הבהירה כאינקלוזיה בתוך מטריקס הנחושת, ולנקבים הרבים במטריקס שבהם ציפוי הפרלויד B-72 חדר והשפיע על הקריאות (ר׳ טבלה 1).

׳השעווה האבודה׳, שבה הכינו חרשי המתכת דגם של החפץ שאותו רצו ליצור משעוות דבורים, ולאחר מכן אטמו את הדגם בחומר, חיממו את הדגם כדי להמיס את השעווה ושפכו את הסגסוגת הנוזלית לתוך החלל שנוצר (Goren 2008); צבעם ייחודי יחסית לכלים הפשוטים (בשל הארסן־אנטימון) ונע בין אפור־כסף לצבע ברונזה (Golden 2010:137). בטכניקה סבוכה זאת נוצרו כלים יפיפיים וייחודיים, כגון ראשי אלה, נסים, מוטות וכתרים, רובם נמצא במטמון נחל משמר (Bar-Adon 1980).

חשוב לציין כי החלוקה שהוצגה לעיל אינה מוחלטת, שכן נמצאו גם מעט כלי יוקרה העשויים מנחושת טהורה (ר׳ להלן) וכלים פשוטים המכילים כמויות קטנות של ארסן ואנטימון (ככל הנראה ׳זיהום׳ שמקורו במחזור מתכות) (נמדר 2002: 88; Golden 2009). מקורה של הנחושת הטהורה ככל הנראה במרבצי נחושת מקומיים, כגון ואדי פינאן ואולי גם תמנע (Hauptmann 2007:261–264), ואילו מקור הסגסוגת במרבצים מרוחקים הרבה יותר, כגון הקווקז או אנטוליה (Golden 2009:291).



איור 5. תצלום רסטר של הגדלת השטח המשויף בראש האלה: (A) אינקולוזיית עופרת בהירה בתוך מטריקס נחושת; (B) נקודות הנחושת בהגדלה (בירוק); (C) נקודות נחושת בהגדלה (באדום); (D) נקודות העופרת בהגדלה (באדום).

הגרזנים

הגרזנים (איור 1: 1–4) עשויים נחושת טהורה. לפי המודל המקובל, כלים אלו נעשו מנחושת שנכרתה בפינאן שבצפון־מזרח הערבה, ומכאן ניתן לשער כי לקהילה הקטנה שישבה בסביבת בית שמש היו קשרי מסחר עם הקהילות הגדולות באזור בקעת באר שבע וצפון הנגב. הפקת נחושת מהבצר בתקופה זו נעשתה באתרי היישוב ולא ליד אזורי הכרייה, עניין שהשתנה מתקופת הברונזה הקדומה (Weisgerber 2003:81). קרוב לוודאי שהגרזנים נעשו ביישוב שבו היה מרכז הפקה וחרשות מתכת, למשל בבקעת באר שבע, ולאחר מכן יוצאו לאזור השפלה. אפשרות נוספת, אם כי פחות סבירה, היא שהכלים יוצרו באתר עצמו, אולם לא נמצאו עדויות לכך בשטח החפירה המצומצם.

אף על פי שהגרזנים משויכים לקבוצת הכלים ה׳פשוטים׳, או השימושיים, הם לא שימשו כלי יום יום. על כך מעידים פני השטח שלהם החפים מסימני פגיעה או שימוש וההרכב הטהור של המתכת הרכה יחסית והפחות יעילה לעבודה. גולדן (Golden 2009:295) עמד כבר על תופעה זו, וקבע שסביר שכלים אלו שימשו

כלי פולחן בדומה לכלי היוקרה. נראה שיש לזהות פריטים אלה ככלים סקאומורפיים, דהיינו המחקים בצורתם כלי אבן ונועדו למטרות פולחן בלבד; לכן, אין בהם רכיבים שימושיים, כגון קצוות חדים לחיתוך (Gošić 2015). עם זאת, הגם שנועדו לפולחן, שרשרת הפעולות שהביאה ליצירתם, למן שלב הכרייה, הייתה שונה לחלוטין מזו של כלי היוקרה בשל ההבדלים בשיטות הייצור של הכלים.

ראש האלה

ראש האלה (איור 5:1) ייחודי בהרכבו, ושונה מהרכבם של כלי היוקרה האחרים שנמצאו בדרום הלבנט. ראש האלה אינו מכיל סגסוגת של נחושת, ארסן, אנטימון (ולעתים ניקל), בניגוד למשל לכלי היוקרה שנתגלו בשקמים (Shalev and Northover 1987; Shalev et al. 1992; Golden, Levy and Hauptmann 2001: Tables 4, 5), גבעת האורנים (נמדר 2002: טבלות 3, 4), מערת הסנדל (Segal and Kamenski 2002), נחל משמר (Key 1980; Shalev and Northover 1993; Tadmor et al. 1995), נחל צאלים (Shalev and Northover 1993), נחל קנה (Shalev 1996) ותל אבו מטר (Levy and Shalev 1989). כל חפצי היוקרה שנמצאו באתרים הללו הכילו כמות מסוימת של ארסן ואנטימון, או שנעשו מנחושת טהורה; הם אינם מכילים עופרת, או שיש בהם רק כמות זניחה שלה (פחות מאחוז אחד, למעט כלי אחד מנחל משמר המכיל 2.5% עופרת, וכלי אחד מנחל קנה ובו 3% עופרת). ראש האלה הנדון כאן, לעומת זאת, מכיל כ־10% עופרת בממוצע.

יוצא מכלל זה הוא כלי דו־חרוטי, שתוארך גם הוא לתקופה הכלקוליתית המאוחרת ונמצא במערת אשלים ומכיל 99% עופרת (Yahalom-Mack et al. 2015). הכלי זוהה כמשקולת נול, לפחות בשלב האחרון של השימוש בו. אנו מציעים לזהות את הכלי כראש אלה בהסתמך על צורתו ועל הרכב החומר הייחודי, וכן על העובדה שמתכות בתקופה זאת היו כה נדירות, ששימוש בכלי מתכת כמשקולת (חפץ יום־יומי שניתן להכינו גם מאבן פשוטה) אינו מתקבל על הדעת (Ben-Yosef, Shamir and Levy 2017). כלי זה ושבר ראש האלה מח״ירבת אל־עמדאן מאפשרים להסביר את הימצאות העופרת כפתרון טכנולוגי: חרשי המתכת נאלצו למצוא תחליף לסגסוגת הנחושת־ארסן־אנטימון שהרכבו יהיה מספיק נוזלי לשימוש בטכניקת ״השעווה האבודה״, בתקופה שבה היה קושי בהשגת הסגסוגות ״הרגילות״.

הבחירה בסגסוגת נחושת־ארסן־אנטימון נעשתה הודות לתכונותיה הפיזיקליות (Tadmor et al. 1995:125). תוצאות הבדיקות של שבר ראש האלה הנדון כאן ושל החפץ ממערת אשלים מחזקות את ההנחה שהבחירה במתכות ״אקזוטיות״ (ארסן־אנטימון או עופרת) קשורה בראש ובראשונה לשיטת ייצור הכלים, ואילו תכונות נוספות של החומר, כגון צבע וקשיות, היו משניות בלבד לשיקול זה.

אנו סבורים, שכאשר לא ניתן היה לסחור בנחושת־ארסן־אנטימון, נאלצו חרשי המתכת לייצר כלי יוקרה מנחושת טהורה, כפי שמעידים מעט ראשי האלה העשויים מהרכב כזה, למשל בגבעת האורנים, או מתחליפים אחרים. העופרת נחשבה לתחליף מתאים, והשתמשו בה בצורתה הטהורה או כסגסוגת. חיזוק לטענה זו טמון בעובדה שלצד כל החפצים הנזכרים לעיל לא נמצאו כלי יוקרה אחרים העשויים מסגסוגת נחושת־ארסן־אנטימון. ניכר כי הדרישה לכלי היוקרה הייתה כה גבוהה — ככל הנראה בשל תפקידם המרכזי בתרבות הע׳סולית — שהושקע מאמץ רב כדי להמשיך את ייצורם גם בעתות מחסור של חומרי הגלם.

מקור העופרת

עופרת נמצאת בטבע רק כחלק ממינרל ולא כמתכת טבעית. המינרל גלנה הוא מקור העופרת הנפוץ ביותר, והוא נמצא גם באזורנו. המקום הקרוב ביותר הוא אזור הר חרמון, אך אין עדויות לכרייה של עופרת שם לפני התקופה הרומית (Dar 1994:255–260; Hauptmann 2007:63). מקורות אחרים של בצר הם עירק (Schoop 1999), אנטוליה (Craddock 1995:125) ויוון (Nriagu 1983), ועל אף ריחוקם הרב מדרום הלבנט, אין לשלול אפשרות זו. יש להניח שעירק או אנטוליה היו מקורות לבצר העופרת, שכן ישנן עדויות לקיומם של חפצי מתכת מאזורים אלה כבר באלף הו׳ לפסה״נ (Craddock 1995; Schoop 1999:32). חקר איזוטופי העופרת

של הכלי ממערת אשלים (LIA), הראה כי מקור העופרת בעמק בולקרדא(ג) (Bolkardağ valley) שבאנטוליה (Yahalom-Mack et al. 2015). למרות זאת, כיוון שמחקר האיזוטופים של העופרת אינו נטול מגבלות, ישנה אפשרות שהעופרת הגיעה ממקור אחר שאינו ידוע לנו (Pollard 2009). כמו כן, טרם נחקרו האיזוטופים של שבר ראש האלה מח׳ירבת אל־עמדאן, ולא נבדק אם מקור העופרת של שני הכלים הנדונים זהה. זאת ועוד, ייתכן שמקור העופרת של ראש האלה הוא בצר פולימטלי של עופרת/נחושת המופיע בצורה טבעית. דוגמות לכך נמצאו בתקופות שונות ובמקומות שונים בעולם, כאשר הקרובים אלינו הם איראן (Emami, pers. comm.), פקיסטן (Mille, Besenval and Bourgarit 2004) וספרד (Montero-Ruiz et al. 2010–2011). אפשרות זו סבירה פחות בעינינו, שכן בדוגמות שנבדקו במקומות אלו, אחוז העופרת קטן בהשוואה לזה שנמצא בראש האלה הנידון כאן. לדעתנו, הריכוז הגבוה של כ־10% עופרת בכלי נוצר מהוספת עופרת לנחושת, ולא מהתכת בצר פולימטלי. כמו כן, ראוי לציין שגוש העופרת שנמצא בחפירה, שלא באתרו, מרמז אולי על ייצור כלים באתר, שכן סגסוג ושימוש בשיטת ׳השעווה האבודה׳ מותירים בשטח מעט מאוד שרידים, אם בכלל.

סיכום

מכלול פריטי המתכת מח׳ירבת אל־עמדאן כולל את סגסוגת העופרת־נחושת הקדומה ביותר בלבנט, ובכך תרומתו לידיעותינו על המטלורגיה של התרבות הע׳סולית. נוסף להבנת רמת הידע הפירוטכני של חרשי המתכת בתקופה הכלקוליתית, מאשש מכלול זה את הטענה שכל כלי המתכת מתקופה זו, ובהם גם הכלים השימושיים־לכאורה, שימשו לפולחן והיו חלק ממערך האמונות. אנו מציעים, ששבר ראש האלה, וכך גם כלי העופרת ממערת אשלים (Yahalom-Mack et al. 2015), מייצגים אפיזודה של מחסור בסגסוגת נחושת־ארסן־אנטימון שהתרחשה בפרק זמן שמשכו אינו ידוע במהלך 300 השנים האחרונות של האלף הה׳ לפסה״נ. מחסור זה גרם לחרשי המתכת לחפש חומרי גלם חלופיים לייצור כלי היוקרה, אשר תהליך הפקתם הצריך חומר בעל תכונות פיזיקליות דומות, שאותן הם השיגו בהוספת העופרת לנחושת (כנראה זו המקומית).

בסוף התקופה הכלקוליתית (3900 לפסה״נ בקירוב) נעלמה המטלורגיה הע׳סולית, ועברו כמה אלפי שנים עד שהאדם חזר לייצר כלי מתכת בטכנולוגיה כה מתקדמת. סגסוגת של עופרת־נחושת לא הייתה בשימוש עד סוף האלף הב׳ לפסה״נ (Ashkenazi, Bunimovitz and Stern 2016), תקופה שבה נמצאו כלים העשויים מסגסוגת שבה אחוז העופרת נמוך (עד 4%). כלים נוספים מסגסוגת עופרת נמצאו במשך האלף הא׳ לפסה״נ (Ashkenazi, Iddan and Tal 2012; Friedman et al. 2008). כלים שבהם ריכוז העופרת גבוה יותר (מעל 25%), ונעשו בטכניקת ׳השעווה האבודה׳, נמצאו שוב רק למן התקופה הרומית. בהקשר זה ראוי לציון חפץ העשוי מסגסוגת נחושת־עופרת בריכוז גבוה, שנמצא במכלול נבטי (Avner 2015). בחפץ זה עוצבו בשיטת ׳השעווה האבודה׳ קרני יעלים בדומה לאלו המוכרים בכלי היוקרה שיוצרו בתקופה הכלקוליתית, אלפי שנה קודם לכן.

הפניות

בארי ר׳ כרך זה. ח׳ירבת אל־עמדאן: אתר מהתקופה הכלקוליתית (התרבות הע׳סולית) בבית שמש.

נמדר ד׳ 2002. **תעשיית הנחושת בתקופה הכלקוליתית בארץ ישראל: הממצאים מגבעת האורנים**. עבודת מוסמך, אוניברסיטת תל אביב. תל אביב.

Ashkenazi D., Bunimovitz S. and Stern A. 2016. Archaeometallurgical Investigation of Thirteenth–Twelfth Centuries BCE Bronze Objects from Tel Beth-Shemesh, Israel. *JAS Reports* 6:170–181.

Ashkenazi D., Iddan N. and Tal O. 2012. Archaeometallurgical Characterization of Hellenistic Metal Objects: The Contribution of the Bronze Objects from Rishon Le-Zion (Israel). *Archaeometry* 54:528–548.

Avner U. 2015. Nabataeans in Southern Sinai. *Aram* 27:397–429.

Bar-Adon P. 1980. *The Cave of the Treasure: The Finds from the Caves in Naḥal Mishmar*. Jerusalem.

Ben-Yosef E., Vassal Y., Brink E.C.M van den and Be'eri R. 2016. A New Ghassulian Metallurgical Assemblage from Bet Shemesh (Israel) and the Earliest Leaded Copper in the Levant. *JAS Reports* 9:493–504.

Ben-Yosef E., Shamir O. and Levy J. 2017. On Early Metallurgy and Textile-Production Technologies in the Southern Levant: A Response to Langgut et al. (2016). *Antiquity* 91:765–776.

Constâncio C., Franco L., Russo A., Anjinho C., Pires J., Vaz M.F. and Carvalho A.P. 2010. Studies on Polymeric Conservation Treatments of Ceramic Tiles with Paraloid B-72 and Two Alkoxysilanes. *Journal of Applied Polymer Science* 116/5:2833–2839.

Craddock P.T. 1995. *Early Metal Mining and Production*. Edinburgh.

Dar S. 1994. *The History of Hermon: Settlements and Temples of the Itureans*. Tel Aviv (Hebrew).

Friedman E.S., Brody A.J., Young M.L., Almer J.D., Segre C.U. and Mini S.M. 2008. Synchrotron Radiation-Based X-Ray Analysis of Bronze Artifacts from an Iron Age Site in the Judean Hills. *JAS* 35:1951–1960.

Gale N.H. 1991. Metals and Metallurgy in the Chalcolithic Period. *BASOR* 282–283:37–61.

Gilead I. 2011. Chalcolithic Culture History: Ghassulian and Other Entities in the Southern Levant. In J.L. Lovell and Y.M. Rowan eds. *Culture, Chronology and the Chalcolithic: Theory and Transition* (*Levant* Suppl. S. 9). Oxford–Oakville. Pp. 12–24.

Golden J. 2009. New Light on the Development of Chalcolithic Metal Technology in the Southern Levant. *JWP* 22:283–300.

Golden J. 2010. *Dawn of the Metal Age: Technology and Society during the Levantine Chalcolithic*. London.

Golden J., Levy T.E. and Hauptmann A. 2001. Recent Discoveries concerning Chalcolithic Metallurgy at Shiqmim, Israel. *JAS* 28:951–963.

Gopher A. and Tsuk T. 1996. *The Nahal Qanah Cave: Earliest Gold in the Southern Levant* (Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph Series 12). Tel Aviv.

Goren Y. 2008. The Location of Specialized Copper Production by the Lost Wax Technique in the Chalcolithic Southern Levant. *Geoarchaeology* 23/3:374–397.

Gošić M. 2015. Skeumorphism, Boundary Objects and Socialization of the Chalcolithic Metallurgy in the Southern Levant. *Issues in Ethnology and Anthropology* 10:717–740.

Hauptmann A. 2007. *The Archaeometallurgy of Copper: Evidence from Faynan, Jordan*. Berlin.

Key C.A. 1980. The Trace Element Composition of the Copper and Copper Alloys Artifacts of the Naḥal Mishmar Hoard. In P. Bar-Adon. *The Cave of the Treasure: The Finds from the Caves in Naḥal Mishmar.* Jerusalem. Pp. 238–243.

Kiele E., Lukseniene J., Griguceviciene A., Selskis A., Senvaitiene J., Ramanauskas R., Raudonis R. and Kareiva A. 2014. Methyl–Modified Hybrid Organic-Inorganic Coatings for the Conservation of Copper. *Journal of Cultural Heritage* 15/3:242–249.

Levy T.E. and Shalev S. 1989. Prehistoric Metalworking in the Southern Levant: Archaeometallurgical and Social Perspectives. *WA* 20:352–372.

Mille B., Besenval R. and Bourgarit D. 2004. Early 'Lost-Wax Casting' in Balochistan (Pakistan): The "Leopards Weight" from Shahi-Tump. In T. Stöllner, R. Slotta and A. Vatandoust eds. *Persiens antike Pracht: Bergbau, Handwerk, Archäologie* I: *Katalog der Austellung des deutschen Bergbau-Museums Bochum vom 28. November 2004 bis 29. Mai 2005* (Veröffentlichungen aus dem deutschen Bergbau-Museum Bochum 128). Bochum. Pp. 274–280.

Miron E. 1992. *Axes and Adzes from Canaan* (Prähistorische Bronzefunde IX/19). Stuttgart.

Montero-Ruiz I., Santos M., Rovira Hortalá M.C., Renzi M., Murillo-Barroso M., Hunt-Ortiz M.A., Gener M.Y, and Castañer i Masoliver P. 2010–2011. Lingotes plano-convexos de cobre en la primera mitad del I milenio a.C. en la península ibérica. In *Homenaje a D. Manuel Santonja Alonso* (*Boletín de la asociación española de amigos de la arqueología* 46). Madrid. Pp. 99–120.

Namdar D., Segal I., Goren Y. and Shalev S. 2004. Chalcolithic Copper Artefacts. In N. Scheftelowitz and R. Oren. *Giv'at Ha-Oranim: A Chalcolithic Site* (*Salvage Excavation Reports* 1). Tel Aviv. Pp. 70–83.

Nriagu J.O. 1983. Occupational Exposure to Lead in Ancient Times. *Science of the Total Environment* 31/2:105–116.

Pollard A.M. 2009. What a Long, Strange Trip it's Been: Lead Isotopes and Archaeology. In A.J. Shortland, I.C. Freestone and T. Rehren eds. *From Mine to Microscope: Advances in the Study of Ancient Technology.* Oxford. Pp. 181–189.

Rowan Y. and Golden J. 2009. The Chalcolithic Period of the Southern Levant: A Synthetic Review. *JWP* 22:1–92.

Schoop U.-D. 1999. Aspects of Early Metal Use in Neolithic Mesopotamia. In A. Hauptmann, E. Pernicka, T. Rehren and Ü. Yalçin eds. *The Beginnings of Metallurgy (Proceedings of the International Conference 'The Beginnings of Metallurgy', Bochum 1995)* (Der Anschnitt Beiheft 9; Veröffentlichungen aus dem deutschen Bergbau-Museum Bochum, 84). Bochum. Pp. 31–36.

Scott D.A. 2011. *Ancient Metals: Microstructure and Metallurgy* I: *Copper and Copper Alloys*. Los Angeles.

Sebbane M. 2016. Ceremonial and Ritual Maces in the Temples of the Ancient Near East, and the Nature of the Hoard from Nahal Mishmar. In I. Finkelstein, C. Robin and T. Römer eds. *Alphabets, Texts and Artifacts in the Ancient Near East: Studies Presented to Benjamin Sass*. Paris. Pp. 421–473.

Segal D. and Kamenski A. 2002. Chalcolithic Copper Objects from Cave VIII/28. *'Atiqot* 41/2:157–162.

Shalem D., Gal Z. and Smithline H. 2013. *Peqi'in: A Late Chalcolithic Burial Site Upper Galilee, Israel* (Land of Galilee 2). Ẕemaḥ.

Shalev S. 1996. Metallurgical and Metallographic Studies: Copper Objects. In A. Gopher and T. Tsuk. *The Naḥal Qanah Cave: Earliest Gold in the Southern Levant* (Tel Aviv University Institute of Archaeology Monograph Series 12). Tel Aviv. Pp. 155–174.

Shalev S. 2006. The Metal Adze. In E. Yannai. *'En Esur ('Ein Asawir)* I: *Excavations at a Protohistoric Site in the Coastal Plain of Israel* (IAA Reports 31). Jerusalem. Pp. 263–266.

Shalev S., Goren Y., Levy T.E. and Northover J.P. 1992. A Chalcolithic Mace Head from the Negev, Israel: Technological Aspects and Cultural Implications. *Archaeometry* 34:63–71.

Shalev S. and Northover J.P. 1987. Chalcolithic Metal and Metalworking from Shiqmim. In T.E. Levy ed. *Shiqmim* I: *Studies concerning Chalcolithic Societies in the Northern Negev Desert, Israel (1982–1984)* (BAR Int. S. 356). Oxford. Pp. 357–371.

Shalev S. and Northover J.P. 1993. The Metallurgy of the Nahal Mishmar Hoard Reconsidered. *Archaeometry* 35:35–47.

Shalev S. and Shilstein S. In press. Copper Tools: An Archaeometallurgical Study. In E.C.M. van den Brink. *Material Aspects of Transitional Late Chalcolithic to Early Bronze Age I Occupations and Landscape Exploitation at Modi'in (Buchman South/Moriah Quarter) in Central Israel* (IAA Reports). Jerusalem.

Shugar A.N. and Gohm C.J. 2010. Developmental Trends in Chalcolithic Copper Metallurgy: A Radiometric Perspective. In J.L. Lovell and Y.M. Rowan eds. *Culture, Chronology and the Chalcolithic: Theory and Transition (Levant* Suppl. S. 9). Oxford–Oakville. Pp. 131–146.

Tadmor M., Kedem D., Begemann F., Hauptmann A., Pernicka E. and Schmitt-Strecker S. 1995. The Naḥal Mishmar Hoard from the Judean Desert: Technology, Composition and Provenance. *'Atiqot* 27:95–148.

Weisgerber G. 2003. Spatial Organisation of Mining and Smelting at Feinan, Jordan: Mining Archaeology beyond the History of Technology. In P. Craddock and J. Lang eds. *Mining and Metal Production through the Ages.* London. Pp. 76–89.

Yahalom-Mack N., Langutt D., Dvir O., Tirosh O., Eliyahu-Behar A., Erel Y., Langford B., Frumkin A., Ulman M. and Davidovich U. 2015. The Earliest Lead Object in the Levant. *Plos One* 10/12. DOI 10.1371:1–14.

Metal Artifacts from Khirbat el-'Umdan, Bet Shemesh: New Insights concerning the Ghassulian Metallurgy

Yitzhak Vassal, Edwin C.M. van den Brink and Erez Ben-Yosef
(Pp. 13*–25*)

Six metal artifacts were uncovered in the Chalcolithic site excavated near Khirbat el-'Umdan, in the precincts of Bet Shemesh (Figs. 1–5, Table 1; see Be'eri, this volume): four axes, a copper chunk and a broken macehead. The site was dated based on Carbon-14 analysis to the second half of the fifth millennium BCE.

Three of the axes and the macehead were chemically tested, allowing for a reconstruction of ancient metalwork, the materials used and the extent of trade relations during the Chalcolithic period. The chemical composition of the axes was found to be similar to that of other contemporary items, while the macehead is a copper-lead alloy, hitherto unknown in the period.

This assemblage confirms that all the metal objects from this period, including those that seem functional, were related to cultic practices. We suggest that the metallurgy of the macehead attests to an episode of copper-arsenic-antimony deficiency during the last 300 years of the fifth millennium BCE, which led the metalworkers to come up with alternative raw materials to produce luxury metal items by adding lead to copper.

Captions to Illustrations

Fig. 1. The metal artifacts.

Fig. 2. E-SEM photograph: (A) Axe 1006; (B) Axe 1029; (C–F) Axe 1029—C and D are the sharp edge.

Fig. 3. EDS analysis curve of two readings of the macehead fragment: top—in the copper matrix: bottom—in lead inclusion.

Fig. 4. Macehead fragment (1031): (A) Close-up of the polished area of the macehead (along the broken part); (B–D) E-SEM magnifications from the polished surface—note the light lead inclusion within the copper matrix, and the many holes in the matrix through which the Paraloid B-72 coating penetrated and affected the readings (see Table 1).

Fig. 5. Raster photograph of the polished surface of the macehead: (A) a lead inclusion within the copper matrix; (B) enlargement of copper dots (in green); (C) enlargement of copper dots (in red); (D) enlargement of lead dots (in red).