

مطالعات باستان‌سنجی و مرمتی بر روی منتخبی از اشیاء مس-پایه دوره مفرغ پایانی از تپه بازگیر، دشت گرگان

مرضیه مصلحی*

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مرمت آثار تاریخی و فرهنگی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز

مهناز عبدالله‌خان گرچی

رئیس موزه ملی ایران

نیما نظافتی

استادیار گروه باستان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

جبرئیل نوکنده

عضو هیئت علمی پژوهشکده باستان‌شناسی پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، استان گلستان

قربانعلی عباسی

کارشناس ارشد باستان‌شناسی اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، استان گلستان

(از ص ۱۱۱ تا ۱۲۸)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۱۰/۱۵؛ تاریخ پذیرش قطعی: ۹۲/۱۱/۲۱

چکیده

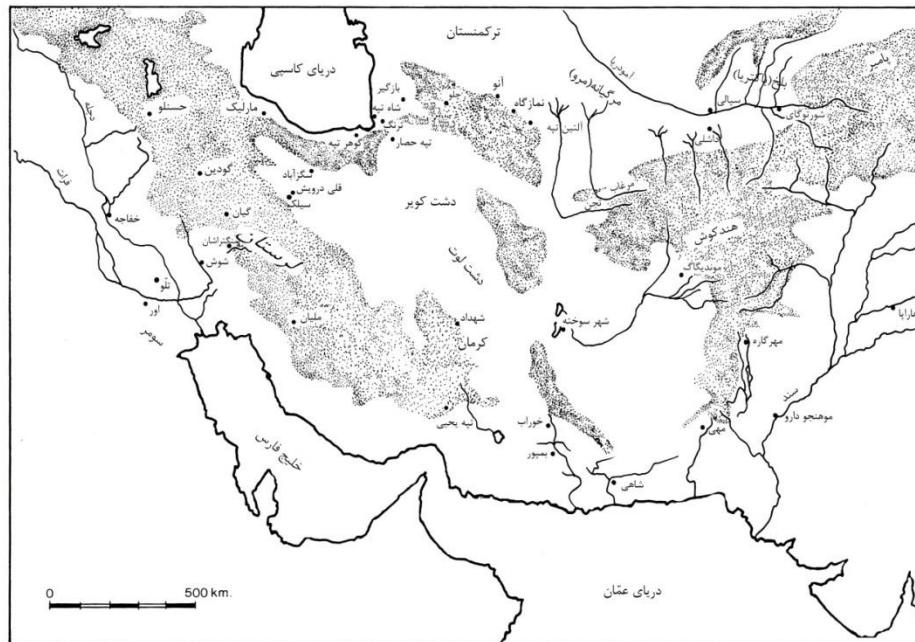
تپه بازگیر در ۷۶ کیلومتری شمال شرق ترنگ‌تپه، در قسمت شرقی دشت گرگان قرار دارد. مجموعه فلزی بازگیر در سال ۱۳۷۹ کشف و در سال ۱۳۸۹ مورد کاوش باستان‌شناختی قرار گرفت. مجموعه اشیاء فلزی، دارای تنوع در شکل و کاربری است و از نظر زمانی به دوره مفرغ پایانی (همزمان IIIC تپه حصار) می‌رسد. در این تحقیق، از روش‌هایی چون میکروسکوپ متالوگرافی، SEM-EDS و XRD برای تعیین تکنیک ساخت، نوع آلیاژ و ترکیب شیمیایی، شناسایی محصولات خوردگی و چگونگی تأثیرات محیط دفن بر روی شش شیء استفاده شد. آثار مورد مطالعه از جنس آلیاژ مس-آرسنیک بوده و به روش ریخته‌گری ساخته شده است. ساختار آثار و مشخصات محیط دفن آنها، ترکیب و ساختار پاتین را تحت تأثیر قرار داده است. شرایط محیط، ترکیبات خاک و نحوه قرارگیری اشیاء باعث کاهش سرعت خوردگی در طول زمان شده و بدین ترتیب این آثار بعد از گذشت مدت‌زمانی، با محیط خود به تعادل رسیده است.

واژه‌های کلیدی: اشیاء مس-پایه، باستان‌سنجی، خوردگی و مرمت، دوره مفرغ پایانی، تپه بازگیر، دشت گرگان

* نشانی پست الکترونیکی نویسنده مسئول: moslehimarziyeh@yahoo.com

۱. مقدمه

تپه بازگیر در روستایی به همین نام، در دو کیلومتری شمال شهر مینودشت در شرق استان گلستان و در ۷۶ کیلومتری شمال شرقی ترنگ‌تپه واقع شده است. رودخانه فصلی قلی‌تپه در شمال شرقی آن جاری است. این تپه دارای شکلی تقریباً بیضوی با محور شمالی-جنوبی است و وسعت آن در حدود ۲/۲ هکتار و ارتفاع آن از زمین‌های اطراف بیش از ۶/۵ متر است (نوکنده و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۱۳ و عباسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵) (نقشه ۱).



نقشه ۱: موقعیت تپه بازگیر در نقشه آسیای غربی

در سال ۱۳۷۹، یکی از ساکنین محلی حین حفر چاه فاضلاب در بالای تپه بازگیر، تعدادی شیء فلزی در این محل کشف کرد. پس از آن، طی یک برنامه نجات‌بخشی، کارشناسان اداره کل میراث فرهنگی وقت اشیاء فلزی دیگری را از ته چاه (فاضلاب) بیرون کشیدند (نوکنده و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۱۳). کاوش باستان‌شناسی این تپه در سال ۱۳۸۹، به سرپرستی قربانعلی عباسی کارشناس ارشد باستان‌شناسی اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان گلستان صورت گرفت (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵)

در کاوش بازگیر، لایه‌هایی فرهنگی، از اواخر هزاره ششم و اوایل هزاره پنجم ق.م (دوره چشمه علی/فلات قدیم)، دوره مفرغ، دوره آهن، دوره اشکانی، داده‌هایی از دوران اسلامی و دوره معاصر به‌دست آمد. در بین داده‌ها، مجموعه‌ای از آثار فلزی در یک بستر باستان‌شناختی از دوره مفرغ پایانی به‌دست آمد که در نوع خود کم‌نظیر است. آثار فلزی به‌دست آمده دارای فرم‌های مختلف از جمله تبر، سرگرز، سرنیزه، ساطور، ظروف فلزی و... است. آثار دارای جنبه کاربردی و غیرکاربردی بوده، از برخی گونه‌ها چندین نمونه مشابه وجود دارد و چیدمان آنها به‌گونه‌ای است که هریک از گروه‌های اشیاء، بر اساس شکل و نوع کاربری تفکیک شده است (نوکنده و همکاران، ۱۳۷۹: ۱۱۵)

پیشینه مطالعات آزمایشگاهی

برای نخستین‌بار در سال ۱۳۸۱ پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی (شیمی تر، آنالیز XRD از محصولات خوردگی، بررسی SEM) بررسی‌هایی آزمایشگاهی بر روی پنج نمونه از اشیاء مجموعه بازگیر، انجام داد. در

بررسی SEM یک نمونه مورد مطالعه، ۹۵٪ مس و ۵٪ اکسیژن و گوگرد شناسایی شد (قاضیان، ۱۳۸۱). پرنیتسکا دو نمونه از قطعات خوردشده تگار را در دانشگاه فرایبرگ مورد آزمایش EDXRF و XRD قرار داد که نتیجه به دست آمده در نمونه سبزرنگ ۹۹٪ مس و ۰۷٪ آرسنیک و در نمونه آبی‌رنگ ۹۲٪ مس و ۰۹٪ آرسنیک را نشان داد و در آزمایش XRD در نمونه سبزرنگ مالاکیت و تنوریت و در نمونه آبی‌رنگ آزوریت و کوپریت شناسایی شد (نوکنده، عمرانی، عباسی، ۱۳۷۹).

لرنز (طی پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود) ۱۷۱ نمونه از اشیاء بازگیر را در مؤسسه باستان‌سنجی دانشگاه فرایبرگ آلمان مورد آزمایش قرار داد که گزارش نتایج آن هنوز منتشر نشده است (Lorenz, 2008). از لیزر Nd:YAG و CO₂ نیز برای حذف آثار خوردگی بر روی قطعه کوچکی از یک شیء در مجموعه فلزی بازگیر استفاده شد و نتایج زدایش نمک‌ها نشان داد که لیزر CO₂ در طول موج "M10/6" نتیجه مطلوبی دارد (احمدی و فرنیای شلمانی، ۱۳۸۱ احمدی و همکاران ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵).

علاوه بر این، آزمایش‌هایی روی ظرف مسی آبریزدار بازگیر صورت گرفت که در آن آنالیز XRD نوع خوردگی‌ها را مالاکیت، آزوریت، بروکانتیت، کوپریت، کوارتز و شیء را فاقد پاتین نوبل معرفی کرد. در آزمایش متالوگرافی، سطوحی با شدت خوردگی‌های متفاوت که بیانگر سطوح مختلف انرژی است، به دست آمد و به دلیل مشاهده نشدن ساختار دندریتی، ساخت شیء به شیوه چکش‌کاری با روش سرد معرفی شد (شادکام، ۱۳۸۴). در سال ۱۳۸۹ مرضیه مصلحی و همکاران، نیز گزارشی از وضعیت حفاظت و مرمت اشیاء بازگیر در مخزن موزه ارائه کردند (مصلحی و همکاران ۱۳۸۹).

مطالعات علمی و هدفمند بر روی کشفیات جدید آثار فلزی، به ویژه به صورت مجموعه‌ای که دربرگیرنده تعداد قابل‌توجهی از آثار مس-پایه با تنوع فرم و شکل است، در بررسی سیر تحول صنعت فلزکاری کهن ایران در منطقه شمال شرق از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. پژوهش حاضر آغازی بر پژوهش‌های بنیادین آتی این مجموعه بسیار ارزشمند، محسوب می‌گردد.

۱-۱ معرفی آثار و مطالعات مقایسه‌ای

از بین آثار مکشوفه فلزی که تعداد آنها بیش از ۷۰۰ عدد و مربوط به دوره مفرغ پایانی است، (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵) (شکل ۱) شش اثر انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت.



شکل ۱. مجموعه فلزی بازگیر در بستر باستان‌شناختی (مصلحی، عباسی و نوکنده ۱۳۸۹، تصویر ۱)

جانمایی آثار فلزی مورد مطالعه در بین کل مجموعه فلزی بدین‌صورت بوده است که این آثار در حد وسط مجموعه فلزی قرار داشته‌اند، به طوری که، بر روی این آثار، ظروف فلزی مانند تگارها به صورت وارونه و زیر آنها نیز آثار فلزی دیگری (خنجرها) جای داشته است. از زمان کشف مجموعه تاکنون، مطالعه موردی روی چند

نمونه از اشیاء انجام شده است (نوکنده و همکاران ۱۳۷۹). این اشیاء را می‌توان از نظر گونه‌شناسی به دو گروه اصلی تبر و سرگرز تقسیم‌بندی نمود که هرکدام نیز دارای زیرگونه خاص خود است. مشخصات اصلی این اشیاء در جدول ۱ و شکل ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱: فهرست و مشخصات آثار مورد مطالعه

توصیف کوتاه و مقایسه	شماره			وزن: گرام	ابعاد	گروه بندی	نوع شیء
	انسان	یا	شکار				
تبر تک سر با پیکره بالا تنه انسان، مشابه تپه حصار (Schmidt 1937, pl. XLVII-5178) و تنه انسانی مشابه ترنگ تپه (Deshayes, 1968:38, XI, 47)	۶۳۴۷	۱۱۲۶۶	الف	۵۱۷	تبر به طول کلی ۱۵/۶ سانتی متر، طول تبر ۷۴ میلی متر، حداکثر عرض تبر ۷۲/۱ میلی متر	گردن کوتاه	تبر تک سر با تیغه افقی و راست
تبر تک سر با پیکره یک جانور بالدار که در حال بلعیدن انسان است. قابل مقایسه با پیکرک یک شیر نشسته در روی تبر از شهداد (حاکمی ۱۳۸۵ ص ۷۳۶، شی شماره Gp9)	۶۳۴۴	۱۱۲۵۳	ب	۱۹۶	تبر طول کلی آن ۱۱/۹ سانتی متر، طول تبر ۶۶/۱ میلی متر، حداکثر عرض تبر ۴۶/۲ میلی متر	گردن بلند	
تبر تک سر با پیکرک ارايه ران سوار بر دو چارپا که مطابقت دارد با طرح تبر تک سر شوش (Tallon 1987, Vol. II p. 139: No 21, 22) و ارايه متعلق به معبد شارا در تل عقرب (مجیدزاده، ۱۳۸۸، شکل ۶۲)	۶۰۶۵	۱۱۲۲۳	ج	۳۰۵	تبر طول کلی آن ۱۳/۸ سانتی متر، طول تبر ۷۵ میلی متر، حداکثر عرض ۳۵/۷ میلی متر		
تبر با تیغه هلالی شکل (تبرزین) و سه پیکرک پرند و نقش مار بر روی دسته لوله‌ای شکل، از نظر تیغه تبرزین قابل مقایسه با تبرزین‌های منطقه قفقاز مرکزی (Picchelaury 1997 taf 13-26) و شوش (Tallon 1987, Vol. II p. 17: No 98-99 and 155: 98-99) و نک: به کالمایر ۱۳۷۶: ۵۷-۶۱) و تبرزین‌های منتسب به املش در مخزن موزه رشت (نوکنده، بازدید ۱۳۸۳) و شاه‌تپه (Arne 1945, pl. XC II, fig 645)	۶۳۴۵	۱۱۲۵۸	د	۳۱۱	تبرزین طول کلی آن ۱۱/۹ سانتی متر - طول ۸۶/۴ میلی متر، حداکثر عرض ۸۶/۴ میلی متر		تبر
سرگرز گردن‌دار با بدنه مدور که دارای ۴ نوار و نقش دکمه‌های برجسته بیضی شکل، مشابه با سرگرز تپه حصار که برجستگی‌هایی بر روی آن وجود دارد (اشمیت، ۱۳۹۱، صص ۳۵۶، ۳۶۰، ۴۹۸ و ۵۴۶)	۶۳۳۲	۱۱۲۲۷	ه	۳۵۸	ارتفاع سرگرز ۸/۱ سانتی‌متر، قطر بیرونی بدنه مدور ۵۳ میلی‌متر، قطر گردن ۲۶ میلی‌متر	بدنه مدور	سرگرز
سرگرز استوانه‌ای با پیکرک جانور در دو ردیف که قابل مقایسه است با سرگرز استوانه‌ای مارلیک به‌همراه صورتک‌های Negahban, 1996, vol. II Fig 31: 639 and Pl. XXXI: 639) و سرگرزهای تزئین دار شوش (Tallon 1987, Vol. II: No 184-187) و نک: به کالمایر ۱۳۷۶: ۴۳-۴۷)	۶۳۳۸	۱۱۲۴۰	و	۲۸۸	ارتفاع ۱۱/۶ سانتی متر، قطر بیرونی بدنه مدور ۳۲ میلی متر، قطر درونی گلوبه ۳۰ میلی متر	بدنه استوانه‌ای	



(ج)



(ب)



(الف)



(و)



(ه)



(د)

شکل ۲: تصاویر آثار مورد مطالعه (عکس از آرشیو پروژه کاوش بازگیر ۱۳۸۹)

۲-۱ روش بررسی

به منظور شناسایی عناصر تشکیل‌دهنده لایه‌های فلزی و مورفولوژی آخال^(۱) در ریزساختارهای شش اثر مورد مطالعه از تپه بازگیر، آنالیز عنصری کمی و کیفی توسط دستگاه SEM-EDS بر روی آنها انجام گرفت. برای انجام این آنالیز، از هر اثر نمونه‌هایی به ابعاد ۲ تا ۳ میلیمتر توسط اهر جواهرسازی بریده شد و پس از انجام مانع سرد و تهیه مقطع صیقلی، آنالیز در بخش SEM مرکز پژوهش متالورژی رازی تهران و با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA II، ساخت شرکت TESCAN، به همراه دستگاه اسپکتروفوتومتر تفرق اشعه ایکس (EDS) مدل RONTEC ساخت آلمان، انجام شد.

مطالعه متالوگرافی با استفاده از میکروسکوپ نوری BK-POL/BK-POLR که مجهز به دوربین Canon EOS Kiss X4 CCD و Breeze System image capture software بوده در دانشکده حفاظت و مرمت

دانشگاه هنر اصفهان انجام شد. نمونه‌ها با استفاده از کلرید فریک محلول در آب (FeCl₃+HCL Solution in H₂O) اچ شده‌اند. بررسی متالوگرافی، بعد از آنالیز SEM صورت گرفت و اچ کردن فقط در متالوگرافی انجام شد. هدف از مطالعه متالوگرافی^(۲) شناسایی تکنیک‌های استفاده شده در ساخت اشیاء است.

برای شناسایی فازهای موجود در محصولات خوردگی، نمونه‌هایی به صورت پودر از رنگ‌های متفاوت روی اشیاء با استفاده از تیغ بیستوری برداشته شد و مورد آنالیز کیفی XRD قرار گرفت. آنالیزها با استفاده از دستگاه XRD مدل D8 ADVANCE، با طول موج ۱/۵۴ آنگستروم، در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان انجام شد. برای تعیین ترکیبات خاک و pH، آنالیزی بر روی نمونه خاکی که از کف مجموعه آثار فلزی برداشته شده بود، انجام گرفت. آنالیز با استفاده از: الف) دستگاه pH سنج Metrom ساخت سوئیس، ب) دستگاه کندانکتیمر (شوری‌سنج) Metrom ساخت سوئیس برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، ج) فیلم فوتومتر (شعله‌سنج) برای اندازه‌گیری سدیم، د) بافت به روش هیدرومتری، ه) کمپلکس‌متر با EDTA برای اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم و) کلر تیتراسیون با نیترات نقره و ز) اندازه‌گیری گچ به روش رسوب با استون و قرائت هدایت الکتریکی انجام شد.

۱-۳ نتایج و بحث

آنالیز نقطه‌ای نمونه‌ها با استفاده از دستگاه SEM برای شناسایی ترکیب عمومی بدنه اشیاء، آخال‌های درون آنها و لایه‌های خوردگی انجام گرفت که نتایج مربوطه در جداول شماره ۲ الی ۴ ارائه شده است.

۱-۳-۱ ترکیب آلیاژ

آنالیز نقطه‌ای از بدنه اصلی نمونه‌ها، حاکی از آنست که مس در همه نمونه‌ها وجود داشته، مقدار آن از ۹۰/۸۷ تا ۹۷/۰۸ درصد وزنی متغیر است، درحالی‌که مقدار آرسنیک از ۰/۰۴ تا ۷/۷۵ درصد وزنی تغییر می‌کند (البته جز نمونه شماره ۶، سرگز استوانه‌ای با پیکر جانور در دو ردیف، که در آن مقادیر مس و آرسنیک به ترتیب ۶۶/۷۲ و ۵/۸۳ درصد است^(۳)). نتایج آنالیز تمامی نمونه‌ها با EDS در جدول ۲ ارائه شده است.

شماره نمونه	کلسیم	سدیم	آهن	کربن	آرسنیک	مس	سرب	نیکل	کروم	کربن	آلومینوم	پک
۱	۰/۳۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۹۴/۷۴	۰/۰۱	۲/۲۷	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۰	-	-
۲	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۴۸	۹۱/۴۶	۰/۰۲	۳/۳۲	۰/۰۲	۰/۴۳	۰/۴۳	۲/۲۸	-	-
۳	۰/۵۱	۰/۲۲	۰/۰۱	۹۲/۰۸	۰/۲۹	۲/۷۱	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۲۲	۱/۹۰	-	-
۴	-	۰/۲۷	-	۹۰/۸۷	-	۷/۷۵	-	-	-	۰/۰۴	-	-
۵	-	-	-	۹۷/۰۸	-	۰/۰۴	-	-	-	۲/۶۳	۰/۰۲۲	-

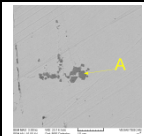
جدول ۲- آنالیز SEM-EDS از مغز فلزی نمونه‌ها

با توجه به آنالیز SEM-EDS، جنس اشیاء، آلیاژ مس آرسنیک‌دار^(۴) است. مقدار آرسنیک اشیاء به اندازه‌ای است که شاید بتوان گفت آرسنیک به‌طور عمدی حین ساخت اشیاء اضافه شده است. میزان آرسنیک نسبتاً بالا در اشیاء، فرسایش دانه‌ای در مرز دانه‌ها را مهار کرده که یک تأثیر افزایش مقاومت در برابر خوردگی است. وجود مقاومت شیمیایی در مرز دانه‌ها، به علت شکل‌گیری گونه‌های بین فلزی مس و آرسنیک است (Abu-Baker, 2008:91).

۱-۳-۲ ناخالصی نمونه‌ها

آنالیزی نیز از آخال‌های موجود در هر نمونه انجام گرفت که نتایج حاصله در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود. در این آخال‌ها، مس تشکیل‌دهنده ترکیب اصلی است و میزان آن بین حدود ۷/۸۲ تا ۹۶/۱۳ درصد وزنی متغیر است. مقدار آرسنیک بین ۰/۰۸ تا ۲۴/۱۹ درصد وزنی، گوگرد بین ۰/۱۵ تا ۲۵/۰۲ درصد وزنی و سرب بین ۰/۱۴ تا ۸۱/۶۹ درصد وزنی متغیر است. آهن، نیکل، اکسیژن و بیسموت نیز به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای در آثار وجود دارد. آنالیزی از قسمت شکسته‌شده شیء شماره ۶ (سرگرز استوانه‌ای با پیکرک جانور در دو ردیف)، که مغز فلزی به مقدار جزئی در آن دیده شده است، انجام گرفت که نشان‌دهنده وجود دو عنصر سرب و مس در آن است. این شیء- علاوه بر عناصری که در جدول مشخص شده- دارای ۰/۶۴ درصد (وزنی) آلومینیم، ۳/۶۵ درصد کلر و ۰/۳۹ درصد سیلیسیم است.

جدول ۳- آنالیز SEM-EDS از آخال و ناخالصی‌های موجود در نمونه‌ها

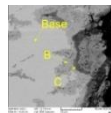
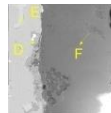
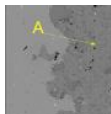
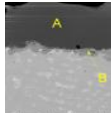
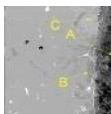
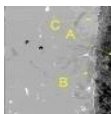


نمونه	تصویر	اکسیژن	گوگرد	کربن	نیکل	مس	فلز	سرب	منیزیم	آرسنیک	آنتیموان	بیسموت
۱		۱۹/۵۷	۰/۲۱	۵۸/۳۲	۷/۱۴	۱۴/۶۰	۰/۰۰	۰/۱۶				
۲	A	۶/۲۲		۰/۴۵		۹۰/۷۷	۰/۷۵	۱/۷۲		۰/۰۸	۰/۰۰	
	B	۰/۰۲			۲/۵۸	۲۲/۹۵		۶۲/۰۷		۱۲/۳۸		
	C	۰/۷۶	۰/۱۵		۱/۳۴	۷۸/۶۲		۰/۰۰		۱۹/۱۳		
۳	B	۳/۳۹	۱۵/۷۷	۰/۱۲		۶۲/۷۶		۳/۴۴		۱۴/۵۲		
	C	۲/۲۲				۴۲/۹۳		۵۳/۴۸		۱/۳۸		
	D	۳/۳۲	۰/۵۱			۹۵/۴۳			۰/۰۱	۰/۲۵		
۴	C		۲۵/۰۲			۷۲/۳۱	۰/۸۱			۰/۴۲	۱/۴۵	
	D					۹۶/۱۳	۰/۰۰	۰/۱۴		۳/۷۲	۰/۰۰	
	E					۷۴/۳۸	۰/۰۲	۰/۴۴		۲۴/۱۹	۰/۰۳	
	F			۲/۰۲		۱۵/۳۴	۰/۰۱	۷۳/۷۵		۰/۲۶	۰/۰۱	۸/۶۰
۵	D		۱۷/۶۵			۷۲/۳۸	۰/۰۱	۵/۴۱		۴/۵۴	۰/۰۱	
	E				۰/۸۸	۷/۸۲	۰/۰۰	۵۹/۶۶		۱۶/۱۰	۰/۰۱	۵/۸۰
	F				۰/۹۱	۹/۸۶	۰/۰۹	۸۱/۶۹		۰/۱۹	۰/۰۱	۷/۳۴
۶					۶۶/۷۲	۰/۶۸	۲۱/۶۹		۵/۸۳	۰/۴۰		

آخال‌های موجود در نمونه‌ها، ترکیباتی از مس، سرب و سولفیدها هستند. وجود اکسیژن در نمونه‌ها حاکی از آن است که علاوه بر آخال‌های سولفیدی، آخال‌های اکسیدی نیز وجود دارند. سرب در مغز فلزی نمونه‌ها وجود ندارد و این مقدار سرب در آخال موجود در نمونه‌ها، می‌تواند مربوط به سنگ معدن باشد. نمونه‌برداری در شیء شماره ۶ (سرگز استوانه‌ای با پیکرک جانور در دو ردیف)، از قسمت شکسته شیء و آنالیز از تمام سطح نمونه (بدون محدوده) انجام گرفت. در این آنالیز دو عنصر سرب و مس به صورت مجزا وجود دارد. با توجه به شکل ظاهری شیء و آسیب‌های آن، این شیء دارای خوردگی بین دانه‌ای است که در اثر آن، آلیاژ استحکام خود را از دست داده است و در اثر جدا شدن دانه‌ها و کریستال‌های آن، قسمتی از شیء شکافته و پودر شده است. خوردگی بین دانه‌ای، در اثر تجمع ناخالصی‌ها در مرز دانه‌ها، غنی یا فقیر شدن مرز دانه نسبت به یک عنصر آلیاژی اتفاق می‌افتد (بخشنده‌فرد، ۱۳۸۳)، که در شیء شماره ۶، سرگز استوانه‌ای با پیکرک جانور در دو ردیف، ناخالصی‌ها در قسمت خوردگی تجمع کرده و سرب به مقدار زیادی در این قسمت وجود دارد. در ترکیب آلیاژی برنزه‌های تاریخی، سرب (پس از قلع) برای بهبود خاصیت مکانیکی، افزایش عمل کار کردن بر روی شیء و بهبود سیالیت در ذوب فلز، یا کاهش هزینه ساخت برنز اضافه می‌شد که در دوره باستان کمیاب بود (Oudbashi, 2013:157).

۳-۳-۱ ترکیب لایه‌های خوردگی

در بررسی SEM اشیاء، محصولات خوردگی مشخص با رنگ‌های متفاوت (جدول ۴) وجود دارد که این مناطق به وسیله EDS مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۴ مس و اکسیژن از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده لایه‌های مختلف آثار است. عناصر گوگرد، سیلیس، کلسیم، آلومینیوم و منیزیم نیز به مقدار جزئی در ترکیب شیمیایی لایه‌ها وجود دارد که ممکن است از خاک سرچشمه گرفته باشد^(۵). مقدار سیلیسیم در شیء شماره ۵ (سرگز گردن‌دار با بدنه مدور) و گوگرد در شیء شماره ۶، سرگز استوانه‌ای با پیکرک جانور در دو ردیف، نسبت به دیگر نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر است. کلر به میزان جزئی در آثار وجود دارد.

جدول ۴- آنالیز SEM-EDS از لایه‌های خوردگی موجود بر روی نمونه‌ها

شماره شیء	محل نمونه	محل آنالیز	اکسیژن	منیزیم	گوگرد	کربن	آهن	مس	آرسنیک	قلع	سرب	سیلیکون
۱		B	۱۴/۸۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۵۲	۰/۰۰	۸۲/۴۹	۰/۳۱	۰/۶۱	۰/۱۸	-
		C	۳۳/۳۴	۰/۰۰	۰/۴۵	۱/۱۸	۰/۰۱	۴۵/۷۴	۱۳/۴۴	-	۱/۹۳	۲/۰۸
۲		D	۱۶/۰۳	-	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۰۱	۷۴/۸۵	۶/۲۳	-	۲/۰۶	-
		E	۱/۳۵	-	۰/۰۸	۰/۱۳	-	۷۵/۲۵	۲۲/۵۳	-	۰/۶۶	-
۳		A	۱۵/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۹۱	-	۷۷/۳۱	۳/۴۶	-	۱/۵۷	-
۴		A	۳۹/۹۵	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۴۳	-	۵۳/۳۶	۳/۱۱	۰/۹۴	۱/۱۴	۰/۳۹
		B	۱۲/۸۹	-	۰/۰۲	۰/۶۹	-	۸۳/۷۸	۰/۰۳	۰/۶۴	۱/۲۶	۰/۴۷
۵		A	۵۳/۹۱	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۴۹	۲/۰۷	۶/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۰	۴/۴۷	۸/۶۳
		B	۹/۵۶	-	۰/۴۳	۰/۳۱	-	۸۹/۴۴	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	-
۶		C	۱/۴۴	-	-	-	-	۶۸/۷۳	۲۶/۳۱	۰/۰۰	۳/۵۲	-
۶		A	۵/۹۲	-	۱۰/۸۱	-	-	۸۱/۹۵	۰/۰۶	۰/۰۰	۱/۲۷	-
		B	۲/۶۲	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۲۸	-	۹۱/۲۹	۲/۶۷	۰/۴۱	۱/۴۴	۰/۳۹
۶		C	۶/۳۸	-	-	۱۶/۹۸	-	۱۱/۵۶	-	-	۶۴/۸۶	-

در تمامی لایه‌های خوردگی موجود بر روی اشیاء، مس و اکسیژن وجود دارد که در همه اشیاء میزان مس از لایه داخلی (چسبیده به فلز) به لایه بیرونی، کمتر می‌شود. یعنی می‌توان گفت لایه‌های داخلی غنی از مس است و در اکسیژن عکس این قضیه صدق می‌کند که میزان اکسیژن از لایه داخلی به بیرونی بیشتر می‌شود. در شیء شماره ۵ (سرگرز گردن‌دار با بدنه مدور) ترتیب لایه‌ها از داخل به بیرون B، C و A است که اکسیژن در لایه C کمتر از B است.

۴-۱ زنگار

پاتین^(۶) می‌تواند از تک‌لایه‌ها یا لایه‌هایی از محصولات خوردگی تشکیل شده باشد. در کل می‌توان اظهار داشت که پاتین یک تکامل تدریجی مستمر از محصولات خوردگی است که ضخامت آن می‌تواند به چند میکرومتر برسد. رشد پاتین معمولاً به دو دهه اول دفن محدود می‌شود و سپس یک لایه بیرونی در اطراف آثار باستانی از آن محافظت می‌کند. اگر شرایط تعادل باقی بماند، خوردگی تغییری به دنبال نخواهد داشت (Fernandes, 2009-2012: 41). سطح فرسوده می‌تواند به دو دسته از الگوهای خوردگی طبقه‌بندی شود: نوع ۱ و ۲^(۷). ضخامت پاتین که در انواع گوناگون ۷۰ و ۱۰ میکرومتر است به زمان قرار گرفتن در خاک و محیط بستگی دارد. به طور کلی، همه محصولات خوردگی که در سطح فلزات وجود دارد بدون ذکر و تشخیص ترکیبات مختلف، لایه‌ها و مورفولوژی، نشان‌دهنده پاتین است (Gianni, 2011:18-19,22).

با توجه به آنالیز EDS، اشیاء مورد مطالعه، دارای پاتین نوع یک بوده که برای خاصیت محافظ و جنبه زیبایی‌شناسی آن «پاتین نجیب» نامیده می‌شود (Gianni, 2011: 22). این اشیاء به شکل خفیفی با رسوبات حاوی مس پوشیده شده است (عودباشی، ۱۳۹۰: ۸۸). سطح دارای لایه‌های محافظ است (Gianni, 2011: 22) و معمولاً از ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر ضخامت دارد (عودباشی، ۱۳۹۰: ۸۸). پاتین موجود بر روی اشیاء مورد مطالعه، تنالیت‌هایی از رنگ‌های سبز و آبی است. رنگ پاتین به ماهیت محیط خورنده آن وابسته است و هیچ‌گونه ارتباطی به ترکیب آلیاژ ندارد؛ یعنی به نظر می‌رسد رنگ اشیاء به شدت تحت تأثیر حضور ترکیبات متشکل خاک است. در نتیجه، رنگ زنگار نمی‌تواند به عنوان یک معیار معتبر برای شناسایی نوع محصولات خوردگی در نظر گرفته شود. به نظر می‌رسد بیشتر ترکیبات متشکل خاک پاتین، پاتین‌های کلریدی از خاکستری به سبز تیره، سبز و آبی است. در مجموع می‌توان گفت ویژگی‌های محیط خورنده محل دفن، یکی از عوامل بسیار مهمی است که می‌تواند ماهیت شیمیایی و ساختاری پاتین را تحت تأثیر قرار دهد (Robbiola, Portier, 2005:4-6).

اولین محصول خوردگی بر روی آثار آلیاژی مس، یک لایه اکسیدی-احتمالاً کوپریت- است که وجود این لایه از نفوذ رطوبت جلوگیری کرده و باعث تثبیت شیء و جلوگیری از ادامه روند خوردگی می‌گردد. به دلیل قرار گرفتن طولانی آثار در محل دفن به مرور زمان ترکیبات کربناتی و کلریدی نیز بر روی آثار شکل می‌گیرد^(۸). در خاک‌های مرطوب و حاوی اکسیژن، یک حالت الکترولیت به وجود می‌آید که باعث ادامه روند خوردگی می‌شود (بخشنده فرد، ۱۳۸۳: ۶۷).

مطالعه نوع محصولات خوردگی با استفاده از آنالیز XRD صورت گرفت. در اشیاء مورد بررسی کوپریت (Cu₂O) پوششی بر سطح شیء ایجاد کرده است که باعث حفاظت شیء می‌شود، به این ترتیب که پس از مدتی شیء با محیط خود به تعادل رسیده و سرعت خوردگی متوقف شده است. سطح این اشیاء را لایه‌های

سطحی کلریدی (نانتوکیت (CuCl)) و هیدروکسی کلریدی (آتاکامیت (Cu₂Cl(OH)₃)) پوشانده (جدول ۵) که نشانی از بیماری برنز است و باعث ایجاد مشکل در پایداری این فلز می‌گردد. لایه‌های مالاکیت (Cu₂(CO₃)(OH)₂) (کربنات مس) نیز بر روی اشیاء مشاهده می‌شود که به صورت یک محلول خوردگی همگون و بی‌شکل به عنوان پاتین بر روی این اشیاء شکل گرفته است. آزوریت (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂) طبیعی نیز نتیجه واکنش آب کربناته بر روی مس و یا واکنش کلرید مس یا سولفات مس با سنگ آهک یا کلسیت (CaCO₃) است^(۹) (بخشنده فرد، ۱۳۸۳: ۵۵). محصولات فسفات (CuHPO₄·H₂O) نیز بر روی یکی از محصولات خوردگی اشیاء قرار دارد (شیء شماره ۴) که می‌توان احتمال داد این خوردگی از رطوبت خاک محل دفن بر روی شیء منتقل شده که احتمالاً به علت قرارگیری مستقیم شیء، بر روی خاک بوده است. در شیء شماره شش، کربنات سرب (PbCO₃) نیز مشاهده شده است. با توجه به آنالیز EDS که سرب را در این شیء نشان می‌دهد می‌توان احتمال داد که در قسمت شکسته محل نمونه‌برداری گویچه‌ای سربی وجود داشته است. مشخصات محصولات خوردگی بر روی اشیاء در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

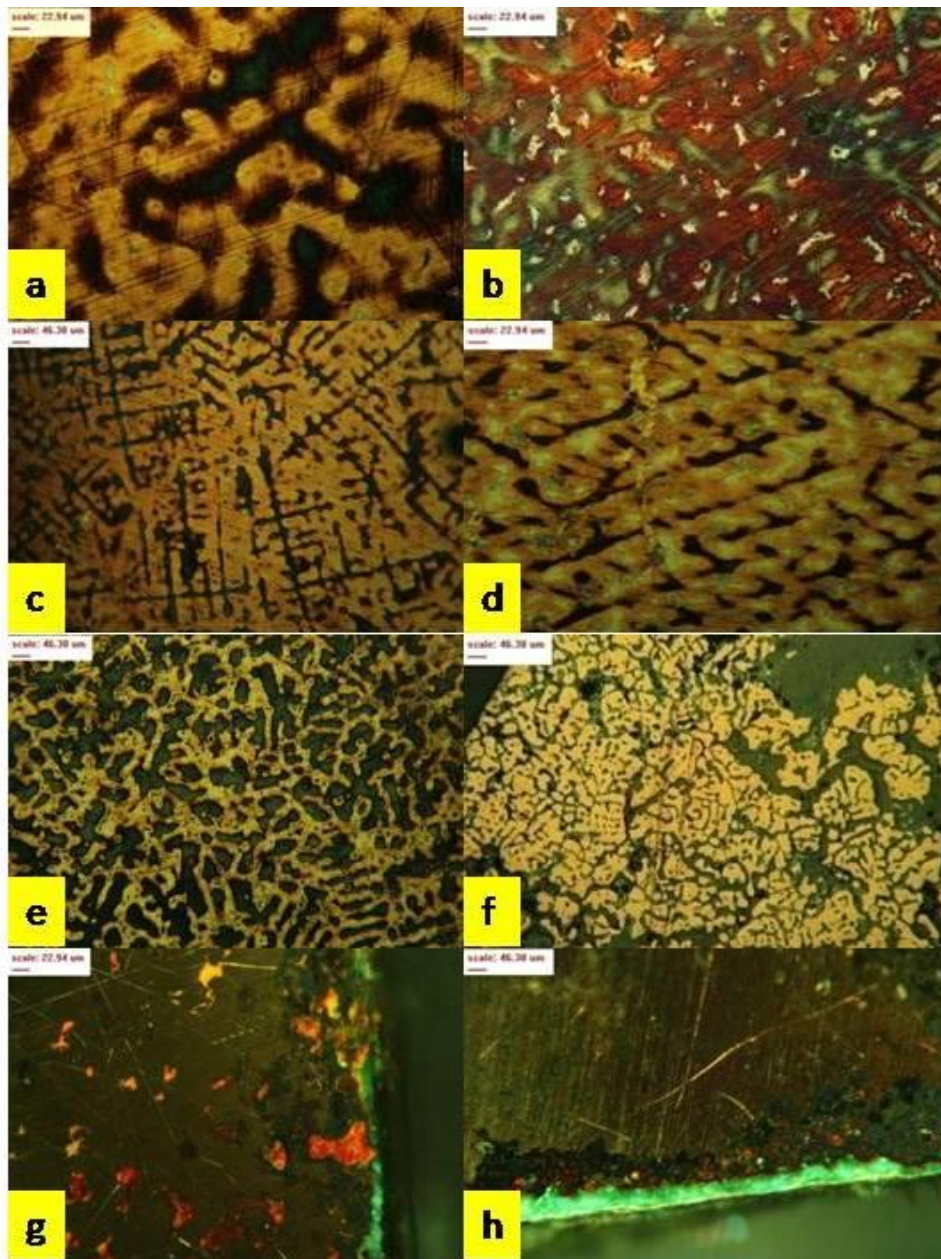
جدول ۵- آنالیز XRD بر روی آثار

شماره شیء	رنگ	آتاکامیت	کوپریت	مالاکیت	گروسیت	نانتوکیت	مسکویت	کلیوکلر	آلیت	آزوریت	کلسیت	فسفات مس	هیدرات هیدروژن	کربنات سرب
۱	سبز تیره		+	+							+			
	سبز روشن			+										
۲	سبز تیره			+										
	آبی تیره			+						+				
۳	سبز تیره	+	+	+	+	+	+	+						
	سبز روشن	+	+	+										
۴	سبز روشن	+	+	+										
	آبی تیره		+	+				+	+	+	+	+		
۵	ملات		+		+						+			
۶	آبی تیره		+							+			+	
	خاکستری												+	

با توجه به آنالیزهای XRD انجام شده، اکثر محصولات خوردگی آثار، شبیه به هم است که این خود می‌تواند نشان‌دهنده ویژگی‌های عمومی خوردگی باشد. به‌طور کلی، ضخامت محصولات خوردگی بر روی اشیاء بسیار جزئی است. اشیاء دارای خوردگی نوع ۱ بوده، لایه‌های غنی از مس در سطح داخلی لایه‌های آنها قرار دارد.

۱-۵ متالوگرافی

آثار مورد بررسی، دارای خوردگی بسیار کمی است و ضخامت لایه‌های خوردگی در این اشیاء بسیار اندک است. در تصاویر متالوگرافی (شکل ۳) معمولاً دو لایه مشخص شده است که در برخی قسمت‌ها از سطح داخلی، ابتدا لایه کوپریت و سپس لایه مالاکیت بر روی نمونه وجود دارد و در برخی نقاط دیگر، لایه مالاکیت بر روی سطح اصلی شیء تشکیل شده است. در تصویر پلاریزان در بین دانه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده کوپریت است.



شکل ۳- تصاویر متالوگرافی آثار a و g (ساختار یوتکتیک و لایه‌های موجود بر روی شیء): اثر شماره ۱، b (خوردگی بین دانه‌ای): اثر شماره ۲، c و h (محلول جامد آلفا و لایه‌های موجود بر روی شیء): اثر شماره ۳، d (ساختار یوتکتیک): اثر شماره ۴، e (ساختار دندریتی): اثر شماره ۵، f (خوردگی بین دانه‌ای): اثر شماره ۶ (عکس از محمد مرتضوی).

تمامی این آثار دارای ساختار دندریتی در بدنه خود است که نشان‌دهنده استفاده از ریخته‌گری در ساخت آنها است (شکل ۳).

علاوه بر فاز آلفا دندریتی، ساختار یوتکتیک $\beta+\alpha$ نیز به مقدار کم و به صورت پراکنده دیده می‌شود (شکل ۲، a، b و d). نشانه‌هایی از عملیات تابکاری و شبه ساختار هم‌محور، در شیء مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد بعد از ریخته‌گری، یک عملیات حرارتی بر روی شیء انجام شده است، که احتمالاً برای کمتر شدن سختی آن

بوده است^(۱۰) (شکل ۲ a). خوردگی بین‌دانه‌ای علاوه بر ساختار هم‌محور، بر روی اثر نیز مشاهده می‌شود (شکل b۲). محلول جامد آلفا نیز در شیء شماره سه تشکیل شده است (شکل c۲). در اثر شماره ۶، با توجه به محل نمونه‌برداری، نمونه دارای خوردگی زیادی است که می‌توان گفت نفوذ خوردگی به سمت مرزدانه‌ها است و با این وجود ساختار دندریتی به خوبی باقی مانده است. آخال‌های سفیدرنگی نیز بر روی شیء دیده می‌شود^(۱۱).

۱-۶ آنالیز خاک

با وجود ترکیبات پیچیده فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در خوردگی اشیاء فلزی داخل خاک، برخی از مطالعات، ایجاد روابط بین پارامترهای خاک‌های مختلف و وضعیت حفاظت از فلزات داخل خاک را نشان داده- است (Fernandes, 2009-2012:3). به منظور انجام آنالیز خاک، نمونه‌برداری از کف مجموعه فلزی تپه بازگیر (جدول ۶ و ۷) صورت گرفت (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۸).

جدول ۷- مشخصات نمونه خاک از تپه بازگیر

لای	ماسه %Sand	ریز %Clay	نوع بافت خاک	اسیدیته کل اشیاء pH	هدایت الکتریکی	Cations and Anions in saturated Extract								
						CO3--	HCO3-	Cl-	SO4--	Sum Anions	Ca++	Mg++	Na+	Sum Cations
۵۰	۲۴	۲۶	Si-L	۷/۲	۵/۰	۰	۲/۶	۱۵/۲	۹/۰	۲۶/۸	۸/۴	۹/۲	۱۱	۲۸/۶

با توجه به آزمایش نمونه خاک محل کشف اشیاء، خاک این منطقه غنی از کاتیون‌هاست که همراه با آب ممکن است کیلیتی شده (Chelated)^(۱۲) و ترکیبات دیگری با اجزای آلی و غیر آلی را تشکیل دهد (Fernandes, 2009-2012, 46).

وجود آب شرط لازم برای کارپیل خوردگی این اشیاء است، زیرا سازنده اصلی الکترولیت، آب است (ماتسون، ۱۳۷۵: ۶۱).

رطوبت موجود در خاک میزبان این اشیاء، به دلیل وجود منابع آب زیرزمینی است. از آنجایی که خاک محل تدفین از جنس شن و ماسه است، جریان آب در آن به خوبی صورت گرفته و ذرات خاک ریزتر و قطر منافذ کمتر و خاک، آب بیشتری را در خود جمع کرده است که این از عوامل مؤثر در خوردگی اشیاء محسوب می‌شود.

وجود اکسیژن شرط لازم خوردگی در خاک است، در سال ۱۳۷۹ که برای اولین بار بعد از زمان دفن، این اشیاء یافت شدند، به دلیل اینکه خاک در سالیان دراز تغییر نکرده و به حالت طبیعی خود باقی بود، مقدار اکسیژن کمتر بود. اما در زمان کشف (حفاری) که این خاک نرم و ریز، جابجا شد، مقدار اکسیژن بیشتری به درون چاه نفوذ می‌کند و روند خوردگی فعال می‌شود و اشیاء از حالت پایدار خود به ناپایداری می‌رسند. پس از بستن چاه و بازگشایی آن بعد از ۱۰ سال از طریق حفاری علمی مجدداً خوردگی فعال می‌شود.

مقدار pH خاک مرطوب بر روی انحلال محصولات خوردگی اثر می‌کند. در pH های کمتر از حدود ۵، سرعت خوردگی می‌تواند، نسبتاً بالا باشد. در pH های معمولی (pH بین ۵ تا ۸) سرعت خوردگی را، عوامل دیگری تعیین می‌کنند^(۱۳). مقدار pH خاک این اشیاء دو سال بعد از کشف مجموعه ۷/۲ است که این pH پوششی درست می‌کند که باعث حفاظت در سطح فلز می‌شود. در نتیجه این عمل، اثر خوردگی به طور یکنواخت توزیع شده و سرعت خوردگی در طول زمان کاهش می‌یابد (ماتسون، ۱۳۷۵: ۷۵).

مقاومت [مخصوص] الکتریکی خاک تا حد زیادی بستگی به ترکیبات شیمیایی آن دارد، یعنی ترکیب خاک بر روی سرعت خوردگی تأثیر دارد، به طوری که هرچه مقدار مواد اسیدی-بازی و یا املاح محلول در آب آن بیشتر باشد خاصیت هدایت الکتریکی آب زیادتر و مقاومت [مخصوص] الکتریکی آن کمتر می‌شود. مقدار هدایت الکتریکی که در آزمایش خاک بازگیر انجام شد، ۵ اهم بر سانتیمتر است که تقریباً می‌توان گفت خاک شوری است که شوری آن خود را در وجود سدیم، منیزیم و کلسیم نشان می‌دهد. این مقدار هدایت الکتریکی می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در خوردگی کم (ضخامت لایه خوردگی بسیار جزئی است) این اشیاء محسوب شود (زمانیان، ۱۳۷۳: ۲۴۸).

در مجموع با توجه به آنالیز خاک و شرایط آن بر روی اشیاء، می‌توان گفت محیط دفن و نحوه قرارگیری اشیاء در سالم بودن مجموعه فلزی تأثیر به‌سزایی داشته است.

نتیجه

آثار فلزی مورد مطالعه تپه بازگیر از نظر گونه‌شناسی شکل، زمان، تکنیک، فن ساخت و جنس، دارای قرابت بسیار نزدیکی با اشیاء فلزی تپه حصار III C است^(۱۴) (نوکنده و همکاران، ۱۳۸۴). در کاوش تپه بازگیر، با وجود حجم بسیار زیاد یافته‌ها، تاکنون در محل، شواهدی دال بر تولید فلزکاری به دست نیامده است^(۱۵).

نتایج مطالعات آزمایشگاهی آثار، نشان‌دهنده این مطلب است که اشیاء فلزی مورد مطالعه از جنس مس آرسنیک است^(۱۶). روش ساخت این اشیاء، ریخته‌گری بوده و حضور آرسنیک همراه با مس، اثر بسیار مفیدی در افزایش مقاومت در برابر خوردگی اشیاء داشته است.

اشیاء دارای پاتین نجیب هستند و با توجه به جانمایی آثار و این که اکسیژن کمتری در محیط دفن وجود داشته، آثار و ضخامت لایه خوردگی تشکیل شده بر روی اشیاء کم و مقدار کلر بر روی آنها بسیار جزئی است.

تشکر و قدردانی

این مقاله خلاصه بخشی از پایان‌نامه مرضیه مصلحی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مرمت آثار تاریخی و فرهنگی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز است. از جناب آقای حمید عمرانی رکوندی، معاون میراث فرهنگی و محمدطه عسگری، جمع‌دار اموال فرهنگی اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان گلستان، دکتر محمد مرتضوی، مهندس بهنام رحمانی مسئول بخش SEM مرکز پژوهش متالورژی رازی تهران، بخش XRD آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان، آقای داود نادری کارشناس محترم آزمایشگاه خاک‌آزما به خاطر همکاری‌شان سپاسگزار می‌شود.

پی‌نوشت

۱. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به: Oudbashi, 2013: 147-174 , Oudbashi & Mortazavi, 2012: 153-178 and Mortazavi, 2011: 49-59 و عودباشی، ۱۳۹۰: ۸۳-۹۳.
۲. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به: Scott, 1991 & 2002.
۳. مقادیر مس و آرسنیک موجود در شیء شماره ۶ مربوط به قسمت شکسته شیء است.
۴. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به:
(Weeks, 2012: 307, Vasileva, 2008: 271-273, Lechtman, 1996: 481, 486, 488, 508, 509, Forbes, 1971: 15 and 1972: 6, 29, 45, Junk, 2003: 22-24, Pigott, 2004: 31, 123, پیگوت، ۱۳۹۱: ۲۰۷-۲۲۶، کاظم‌نژاد، ۱۳۸۷: ۳۱-۳۸)
۵. در شیء شماره ۱ قسمت C پتاسیم ۰/۶۴، کلسیم ۱/۱۹، شیء شماره ۲ قسمت F کربن ۱/۶۴، شیء شماره ۴ قسمت A آلومینیوم ۰/۴۷، قسمت B آلومینیوم ۰/۲۲، شیء شماره ۵ قسمت A پتاسیم ۰/۷۵، کلسیم ۲/۴۳، کربن ۱/۷۶/۶، آلومینیوم ۳/۰۱، فسفر ۰/۵۸، قسمت B آنتیموان ۰/۲۱ و در شیء شماره ۶ قسمت B آلومینیوم ۰/۳۹ و آنتیموان ۰/۲۵ است.
۶. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به مقاله (Robbiola & Portier: 2005) و نیز (Piccardo, 2007: 239-262)
۷. دو دسته را می‌توان در بعضی اشیاء مشاهده نمود: نوع ۱ صاف است و قسمتی از شیء را شامل می‌شود درحالی‌که نوع ۲ دارای یک سطح خشن (زبر) است که به شدت آسیب دیده است (Gianni, 2011: 18-19, 22).
۸. برای مطالعات بیشتر رجوع شود به: (Scott, 2002: 82-94).
۹. برای مطالعات بیشتر رجوع شود به: (Scott, 2002: 100-128).
۱۰. برای مطالعات بیشتر رجوع شود به: (Scott, 1991).
۱۱. از آقای محمد مرتضوی (دانشگاه هنر اصفهان) که در تحلیل متالوگرافی یاری رساندند، بسیار سپاسگزاری می‌شود (مصلحی).
۱۲. کیلیت، ترکیب‌های حلقوی، که در ساختار آنها فلز و هیدروژن شرکت دارد (بالا‌زاده، ۱۳۸۳: ۱۲۴).
۱۳. برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به: (ماتسون، ۱۳۷۵: ۷۵).
۱۴. لازم به ذکر است که علاوه بر تپه حصار، برخی از آثار مورد مطالعه بر طبق جدول شماره ۱ از نظر فرم و تکنیک ساخت با محوطه‌های باستانی مانند ترنگ‌تپه، شهداد، لرستان و شوش شباهت دارد.
۱۵. شواهد فناوری تولید فلز در تپه حصار گزارش شده است (Pigott, 1989 , Thornton, 2009) و تنها در دشت گرگان قالب و بوتنه سفالی مرتبط با فلزکاری از شاه تپه به دست آمده است، در حالی‌که شواهدی از سرباره فلزی در آن گزارش نشده است (Arne, 1945: 258, Nokandeh, 2010: 221).
۱۶. معدن منابع فلزی تپه بازگیر هنوز مطالعه نشده ولی نزدیک‌ترین کانسار آرسنیک دار گزارش شده، کانسار تکنار در ۳۰۰ کیلومتری غرب تپه حصار و ۲۲ کیلومتری شمال غربی بردسکن در خراسان رضوی است (Pigott, 2004: 30 and Roustaei, 2004: 229-230).

منابع

- آمیه، پی‌یر، «روابط ایران و بین‌النهرین از ۳۵۰۰-۱۶۰۰ ق. م»، [ترجمه زهرا باستی]، در: جان کرتیس، بین‌النهرین و ایران در دوران باستان: کشمکش و تقابل ۳۵۰۰-۱۶۰۰ ق. م، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران، ۱۳۸۹، صص ۲۵-۳۷ (انتشار به زبان اصلی ۱۹۹۳).
- احمدی، شکوفه، فرنیا شلمانی، فرناز، (۱۳۸۱)، «بررسی فنی و آسیب‌شناسی تعدادی از اشیاء مفرغی مجموعه لرستان و استفاده از لیزر برای حذف محصولات خوردگی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، دانشکده هنر و معماری.

احمدی، شکوفه، فرنیای شلمانی فرناز، ملکی محمدهادی، وطن دوست رسول، قاضیان مجید، نیکزاد لیدا، زارع علیرضا، رزاقی، حسین و سلطان مرادی فریدون، «کاربرد لیزرهای Nd:YAG و CO₂ در پاکسازی خوردگی اشیاء برنزی و مسی تاریخی»، مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۳۴، ۱۳۸۴، صص ۲۵-۳۱.

احمدی، شکوفه، فرنیای شلمانی فرناز، وطن دوست رسول، ملکی محمد هادی، قاضیان مجید، نیکزاد لیدا، زارع علیرضا، رزاقی، حسین و سلطان مرادی فریدون، «کاربرد و شناسایی قابلیت‌های لیزر Nd:YAG و CO₂ به منظور پاکسازی محصولات خوردگی آثار برنزی و مسی»، [به کوشش عبدالر سول وطن دوست]، مجموعه مقالات ششمین همایش حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی - فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری، پژوهشکده حفاظت مرمت آثار تاریخی - فرهنگی سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، تهران، ۱۳۸۵، صص ۱۴۵-۱۵۵.

بالازاده: پرویز (۱۳۸۳) فرهنگ توصیفی شیمی: انگلیسی-فارسی، فرهنگ معاصر، تهران.
بخشنده فرد، حمیدرضا، جزوه آسیب‌شناسی آثار تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۸۳، اصفهان.
حاکمی: علی (۱۳۸۵)، گزارش هشت فصل بررسی و کاوش در شهداد (دشت لوت)، [به کوشش محمود موسوی]، پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، پژوهشکده باستان‌شناسی، تهران.

کرتیس: جان (۱۳۸۹)، بین‌النهرین و ایران در دوران باستان: کشمکش و تقابل ۳۵۰۰-۱۶۰۰ ق. م، [ترجمه زهرا باستی]، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران. (انتشار به زبان اصلی ۱۹۹۳).

زمانیان: رحیم (۱۳۷۳)، خوردگی و روش‌های کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
شادکام، صوله، «حفظ و مرمت یک نمونه ظرف مسی آبریزدار متعلق به مجموعه آثار مکشوفه در بازگیر»، پایان‌نامه کارشناسی، ۱۳۸۴، دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی.

عباسی: قربانعلی و نوکنده: جبرئیل (۱۳۹۱)، گزارش پایانی کاوش تپه بازگیر، اداره کل میراث فرهنگی استان گلستان، در حال تدوین.

عباسی، قربانعلی، نوکنده، جبرئیل و عمرانی رکاوندی، حمید، «دستاوردهای باستان‌شناختی از کاوش تپه بازگیر در شهرستان مینودشت - استان گلستان»، چکیده مقاله‌های یازدهمین گردهمایی سالانه باستان‌شناسی ایران، پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری تهران، موزه ملی، ۱۳۹۱، الف، صص ۳۰۶.

عباسی، قربانعلی، نوکنده، جبرئیل و عمرانی رکاوندی، حمید، «مجموعه فلزی دوره مفرغ دشت گرگان: دستاورد باستان‌شناختی تپه بازگیر»، کاتالوگ نمایشگاه گزیده‌ای از یافته‌های باستان‌شناسی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۰ به مناسبت یازدهمین گردهمایی سالانه باستان‌شناسی ایران، پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری تهران، موزه ملی، ۱۳۹۱، ب، صص ۵-۱۰.

عودباشی، امید، امامی، سید محمد امین و دوامی، پرویز، «ریخت‌شناسی خوردگی در برنزه‌های تاریخی، تحلیل فرایند مس-زدایی در اشیاء برنزی هفت تپه خوزستان»، نشریه مرمت آثار و بافت‌های تاریخی - فرهنگی دو فصلنامه علمی پژوهشی، شماره اول، ۱۳۹۰، صص ۸۳-۹۳.

قاضیان، مجید، «بررسی اشیاء فلزی مکشوفه از بازگیر در استان گلستان»، نشریه داخلی پژوهشکده مرمت و حفاظت آثار تاریخی و فرهنگی، سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۸۱، صص ۱-۵.

کالمایر: پتر (۱۳۷۶)، مفرغ‌های قابل تاریخ‌گذاری لرستان و کرمانشاه، [ترجمه محمد عاصمی]، سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران.

کاظم نژاد، سیدمحسن، «حفاظت و مرمت تیغه خنجرمفرغی به دست آمده از گوهرتپه مازندران»، پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، ۱۳۸۷، دانشکده هنر، دانشگاه زابل.

ماتسون: اینار (۱۳۷۵)، مبانی تکنولوژی خوردگی، [ترجمه عسگر هورفر]، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
مجیدزاده، یوسف، «فلز و فلزگری در ایران باستان»، فرهنگ‌نامه ایران، بنیاد نیشابور، تهران، ۱۳۶۴، صص ۲۲۸-۲۰۱.
مجیدزاده: یوسف (۱۳۸۸)، تاریخ و تمدن بین‌النهرین، جلد دوم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

مصلحی، مرضیه؛ عباسی، قربانعلی؛ نوکنده، جبرئیل، «طرح آسیب‌شناسی، حفاظت و مرمت اشیاء مکشوفه تپه بازگیر مینودشت»، آرشیو اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان گلستان، ۱۳۸۹، (گزارش منتشر نشده).
مصلحی، مرضیه، ۱۳۹۲، «مطالعه فنی منتخبی از اشیاء با آلیاژ مس از مجموعه آثار فلزی تپه بازگیر (مینودشت- استان گلستان) متعلق به دوره مفرغ جدید و ارائه راهکارهای حفاظتی این مجموعه»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.

مصلحی، مرضیه؛ عباسی، قربانعلی؛ نوکنده، جبرئیل، «حفاظت آثار در حین و پس از کاوش باستان‌شناختی تپه بازگیر مینودشت»، از مجموعه مقالات همایش بین‌المللی باستان‌شناسان جوان، آبه کوشش محمد حسین عزیزی خرائقی، مرتضی خانی‌پور و رضا ناصری، دانشگاه تهران، ۱۳۸۹، صص ۶۵۱-۶۶۴.

نگهبان، عزت‌الله (۱۳۷۸)، حفاری‌های مارلیک، جلد اول، سازمان میراث فرهنگی کشور (پژوهشگاه)، تهران.

نوکنده، جبرئیل؛ عمرانی رکاوندی، حمید؛ عباسی، قربانعلی، «گزارش مقدماتی کشف مجموعه بازگیر دشت گرگان ۱۳۷۹»، گزارش‌های باستان‌شناسی ۴، پژوهشکده باستان‌شناسی، تهران، ۱۳۸۴، صص ۱۱۳-۱۲۹.

Arne, T.J., 1945. Excavations at Shah Tepé, Iran, Stockholm.

Abu-Baker, A., 2008. Investigating the corrosion and microstructure of five copper-based archaeological artefacts from Tell el-Ajjul, *AICCM Bulletin*, Vol. 31.

Begemann, F., Haerinck, E. Overlaet, B. Schmitt- Strecker, S. and Tallon, F. 2008. An archaeo-metallurgical study of the early and middle Bronze Age in Lurestan, Iran, *Iranica Antiqua*, Vol. XLIII: 1-66.

Deshayes, J, 1968. Tureng Tepe und die ebene von Gorgan zur Bronzezeit, *Archaeologia Viva*, Nr.1, PP 35-38, Abb: 34 und 39-41.

Fernandes, R. 2009. Study on Roman and Merovingian copper alloyed artefacts, in soil corrosion processes and recycling practices, Master Thesis Landscape Archaeometry (O-variant), Extension Master Thesis Archaeometry, IGB Rapport 2009-12.

Gianni, L. 2011. Corrosion behavior of bronze alloys exposed to urban and marine environment: an innovative approach to corrosion process understanding and to graphical results presentation, Joint Ph.D in: materials and raw materials engineering and analytical chemistry, Ghent – Rome.

Junk, M. 2003. Material properties of copper alloys containing Arsenic, Antimony and Bismuth, the material of early Bronze Age Ingot Torques, Dissertation, von der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der Technischen Universität Bergakademie Freiberg.

Lechtman, H. 1996. Arsenic Bronze: dirty copper or chosen alloy? A vive from the Americas, *Journal of Field Archaeology*, 23: 477-514.

Lorenz, S., 2008. Archäometrische untersuchungen am hortfund von Bazgir, Iran, Diplomarbeit-/Magister, Institute für Archäometrie, Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie, TU Bergakademie Freiberg, Betreuer: Ernst Pernicka.

Mortazavi, M. Salehi Kakhki, A. Golozar, M.A. Talai, H., 2011. Preliminary metallurgical investigation of copper-based artifacts at Tepe Sagzabad in Qazvin Plain, Iran (1500-800 BC), *Iranian Journal of Archaeological Studies*, 1 (2): 49-59.

Negahban, E.O. 1996. Marlik, the complete excavation report, the University Museum Monograph 87, University of Pennsylvania, Philadelphia, Vol.1 (Text) Vol. 2 (Illustrations).

Nokandeh, J. 2010. Neue Untersuchungen zur Sialk III-Periode im zentraliranischen hochland auf der grundlage der ergebnisse des, Sialk reconsideration project, dissertation.de verlag im internet, Berlin, Germany.

Oudbashi, O. Emami, S. M. and Davami, P., 2012. Bronze in archaeology: A review of the archaeometallurgy of bronze in ancient Iran, in: L. Collini (ed.), copper alloys-early applications and current performance- enhancing processes, In Tech, 153-178.

Oudbashi, O. Emami, S.M. Malekzadeh, M., Hassanpour, A. and Davami, P., 2013. Archaeometallurgical studies on the bronze vessels from Sangtarashan, Lurestan, W. Iran, *Iranica Antiqua*, Vol:XLVIII: 147-174.

Picchelaury, K. 1997. Waffen der bronzezeit aus Ost-Georgien, Verlag Marie Leidorf Gmb H. Espelkamp.

Piccardo, P. Mille, B. and Robbiola, L., 2007. Tin and Copper Oxides in corroded archaeological bronzes, in: P Dillmann, G. Beranger, P. Piccardo and H. Matthiessen(eds.), corrosion of metallic heritage artefacts: investigation, conservation and prediction of long term behaviour, Woodhead Publishing, European Federation of Corrosion (EFC) Series No. 48 pp. 239-262.

Pigott, V. C., 1989. Archaeo-metallurgical investigations at Bronze Age Tappeh Hesār, in: Dyson, R. H. Jr, and Howard, S. M. (eds.), Tappeh Hesār: Reports of the restudy project, 1976, Casa Editrice le Lettere, Firenze, 25-33.

Pigott, V. C. 2004. Zur bedeutung Irans für die erforschung prähistorischer Kupfermetallurgie, in: T. Stöllner, R. Slotta, and A. Vatandoust, (Hrsg.) Persiens Antike Pracht. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, Band I: 28-43.

این مقاله به فارسی برگردان شد نگاه کنید به :

پیگوت، وینسنت، «اهمیت ایران در پژوهش‌های مس‌شناسی پیش از تاریخ»، [ترجمه کیوان شریفی]، نامورنامه؛ مقاله‌هایی در پاس‌داشت یاد مسعود آذرنوش، انتشارات ایران‌نگار، تهران، ۱۳۹۱، صص ۲۰۷-۲۲۶ (انتشار به زبان اصلی ۲۰۰۴).

Robbiola, L. and Portier, R., 2006. A global approach to the authentication of ancient bronzes based on the characterization of the alloy-patina-environment system, *Journal of Cultural Heritage*, 7: 1-12.

Roustaie, K., 2004. Tappeh Hesār: ein wichtiges produktionszentrum auf dem Zentralplateau, in: T. Stöllner, R. Slotta, and A. Vatandoust, (Hrsg.) Persiens antike pracht. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, Band I: 222-230.

Schmidt, E.F., 1933. Tepe Hissar excavations 1931, *The Museum Journal* 23, No. 4: 323-483.

Schmidt, E. F.1937. Excavations at Tepe Hissar: Damghan, Philadelphia, University Museum.

این کتاب به فارسی برگردان شد نگاه کنید به:

اشمیت: اربیش (۱۳۹۱) کاوش‌های تپه حصار دامغان، [ترجمه کوروش روستایی]، سمنان: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سمنان (انتشار به زبان اصلی ۱۹۳۷).

Scott, D. A., 2002. Copper and bronze in art: Corrosion, colorants, conservation, The Getty Conservation Institute, Los Angeles.

Scott. D. A., 1991. Metallography and microstructure of ancient and historic metals, The Getty Conservation Institute, The J. Paul Getty Museum, Tien Wah Press, Ltd, Singapore.

Tallon. F., 1987. Métallurgie Susienne I, de la foundation de Suse, I, Vol.I and II.

Thornton, C. P., 2009. The emergence of complex metallurgy on the Iranian Plateau: escaping the levantine paradigm“*World prehistory*, 22: 301-327.

Vasileva M., 2008. Archaeometric study of Iron Age copper alloy artefacts from

South-East Bulgaria, in: Kostov, R.I., Gaydarska, B., Gurova, M., (eds.), geoarchaeology and archaeomineralogy, Proceedings of the International Conference, 29-30 October 2008 Sofia, Publishing House St. Ivan Rilski, Sofia, pp. 271-273.